



**LAUREA**  
AMMATTIKORKEAKOULU

*Uuden edellä*

# Reaaliaikainen ohjelmansiirto laajaverkossa — Case Yleisradio Oy

---

Heinonen, Tero

2012 Leppävaara

Laurea-ammattikorkeakoulu  
Laurea Leppävaara

## Reaaliaikainen ohjelmansiirto laajaverkossa – Case Yleisradio Oy

Heinonen, Tero  
Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma  
Opinnäytetyö  
Marraskuu, 2012

Heinonen, Tero

**Reaaliaikainen ohjelmansiirto laajaverkossa – Case Yleisradio Oy**

Vuosi 2012

Sivumäärä 53

---

Tämän opinnäytetyön aiheena on reaaliaikainen ohjelmansiirto Internet-verkon kautta. Tarkoituksena opinnäytetyössä on tutkia sekä testata Internet protokolla (IP) pohjaisen siirtoverkon käyttömahdollisuuksia. Opinnäytetyö tehtiin Yleisradio Oy:n tarpeisiin. Yleisradio Oy on kiinnostunut tutkimaan, voisiko nykyään käytössä olevat satelliitti-, radiolinkki- tai kuituyhteydet mahdollisesti korvata IP-pohjaisilla yhteyksillä. Verkkoyhteyksien jatkuva kehittyminen sekä kaistan nopeuksien kasvaminen, voi nykyään mahdollistaa TV-tuotannon vaatimukset täyttävän ohjelmansiirron. IP-verkkoa käytettäessä on kuitenkin otettava huomioon monia kuvanlaatuun ja verkon toimivuuteen vaikuttavia tekijöitä.

Opinnäytetyössä on selvitetty TV-tuotannon erityisvaatimukset sekä tutkittu, mitä asioita on otettava huomioon IP-pohjaisessa ohjelmansiirrossa. Vaikuttavimmat tekijät ovat: bittikapasiteetin rajallisuus, siirtoviive, siirtoviiveen vaihtelu sekä hävitettyjen IP-pakettien tuomat ongelmat. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on löytää ratkaisu jokaiseen edellä mainittuun ongelmakohtaan. Opinnäytetyö on jaettu kahteen osuuteen. Osuudet ovat teoriaosuus ja toiminnallinen osuus. Teoriaosuudessa käsitellään opinnäytetyön kannalta keskeisessä osassa olevia käsitteitä. Toiminnallisessa osuudessa käydään läpi hankeprojektin toteutus ja testeissä saadut tulokset.

Opinnäytetyö on tehty käyttämällä toiminnallista tutkimusmenetelmää. Opinnäytetyön testeissä käytettiin Yleisradion laajaverkkoa eli Wide Area Network (WAN). Testit toteutettiin kahden Yleisradio Oy:n televisiotuotantoon soveltuvan aluetoimipisteen välillä. Aluetoimipisteet olivat Pasila ja Oulu. Toimipisteiden välillä tehdyissä testeissä pyrittiin löytämään ratkaisu kaikkiin TV-tuotannon erityisvaatimuksille. Testeissä tutkittiin toimipisteiden välillä olevan WAN-verkon toimivuutta ja ratkaistiin miten kuvanlaatuun vaikuttavat tekijät voidaan minimoida.

Avainsanat IP, RTP, FEC, QoS, MPLS

Heinonen, Tero

**Real-time broadcast transmission through Wide Area Network – a case study of Yleisradio Ltd**

Year	2012	Pages	53
------	------	-------	----

---

The topic of this thesis is the real-time broadcast transmission through the internet. The purpose of the thesis is the study of Internet Protocol (IP) based transmission network and to test its application in practice. This study was devised for the needs of Yleisradio Ltd. as they have expressed interest in exploring the possibility of replacing existing satellites, radio relays or fibre connections with IP based connections. The constant development of network connections along with the amount of bandwidth available can meet the requirements of program transmission in television production. There are, however, considerations with the application of an IP network such as the visual quality of broadcast and factors affecting the functionality of the network.

The particular demands of TV production were researched for this thesis as well as the issues needed to take into account when dealing with IP based program transmission. Most prominent factors are: limited bit capacity, transfer delay, variation of transfer delay and the loss of IP packets. The objective of this study is to find a solution for all of the aforementioned problems. The thesis is divided into two sections consisting of theory and practical use. The practical section of the study will go through the implementation of the project and results gathered from testing. The theory section will review the essential concepts regarding the thesis.

Research was carried out using the practice based research method. Tests were conducted using the Wide Area Network (WAN), the area network used by Yleisradio. The tests were implemented between two different sites suitable for TV production, the regional Yleisradio offices of Pasila and Oulu. Testing was conducted with the specific needs of TV production in mind. The functionality of the aforementioned WAN network was tested between the two offices. Furthermore, it was resolved how factors affecting image quality could be minimized.

Keywords      IP, RTP, FEC, QoS, MPLS

## Sisällys

1	Johdanto .....	6
2	Työn tausta ja lähtökohdat .....	6
2.1	Työn rakenne ja tulosmittarit.....	8
2.2	Tutkimusmenetelmät ja tavoitteet .....	10
3	Kohdeyrityksen esittely .....	10
3.1	Historia.....	10
3.2	Yle yhtiönä .....	11
3.3	Ylen tuottamat palvelut .....	12
3.4	Ylen arvot ja strategia .....	12
4	Työn teoreettinen tausta ja keskeiset käsitteet .....	13
4.1	IP-protokolla & laajaverkko .....	13
4.2	Haasteet käytettäessä IP-verkkoja.....	15
4.3	Siirtoviive .....	16
4.4	IP-verkkojen protokollahierarkia .....	16
4.5	Kuljetuskerroksen protokollat .....	17
4.6	Real-Time Transport Protocol.....	19
4.7	RTP Control Protocol .....	20
4.8	Virheenkorjaus.....	22
4.9	Puskurointi .....	24
4.10	Kokonaisviive .....	25
4.11	Palvelun laatu .....	27
4.12	Multi-Protocol Label Switching.....	28
5	Hankekuvaus .....	29
5.1	Tavoitteet ja vaatimusten määrittely .....	30
5.2	Toteutus .....	31
5.3	Kuvanlaadun testaus & tulokset .....	33
5.4	Verkon suorituskyvyn testaus & tulokset.....	34
5.5	Ongelmatilanteet ja niiden ratkaisut.....	36
6	Johtopäätökset & kehitysehdotukset.....	38
	Lähteet .....	40
	Kuvat .....	42
	Taulukot .....	43
	Liitteet.....	44

## 1 Johdanto

Internet protokolla (IP) pohjainen ohjelmansiirto on ollut jo pitkään TV-tuotantoyhtiöiden mielenkiinnon kohteena. IP-verkkojen yleistyminen ja suorituskyvyn paraneminen, luo IP-verkoille uusia käyttömahdollisuuksia. IP-verkon kautta siirrettävässä reaaliaikaisessa ohjelmansiirrossa on kuitenkin otettava huomioon TV-tuotannon erityisvaatimukset. TV-tuotannossa vaatimuksena on virheetön kuvanlaatu sekä viiveen minimointi. Lisäksi Yleisradion toimistoverkon sekä ohjelmansiirtoverkon on toimittava samanaikaisesti ilman ongelmia.

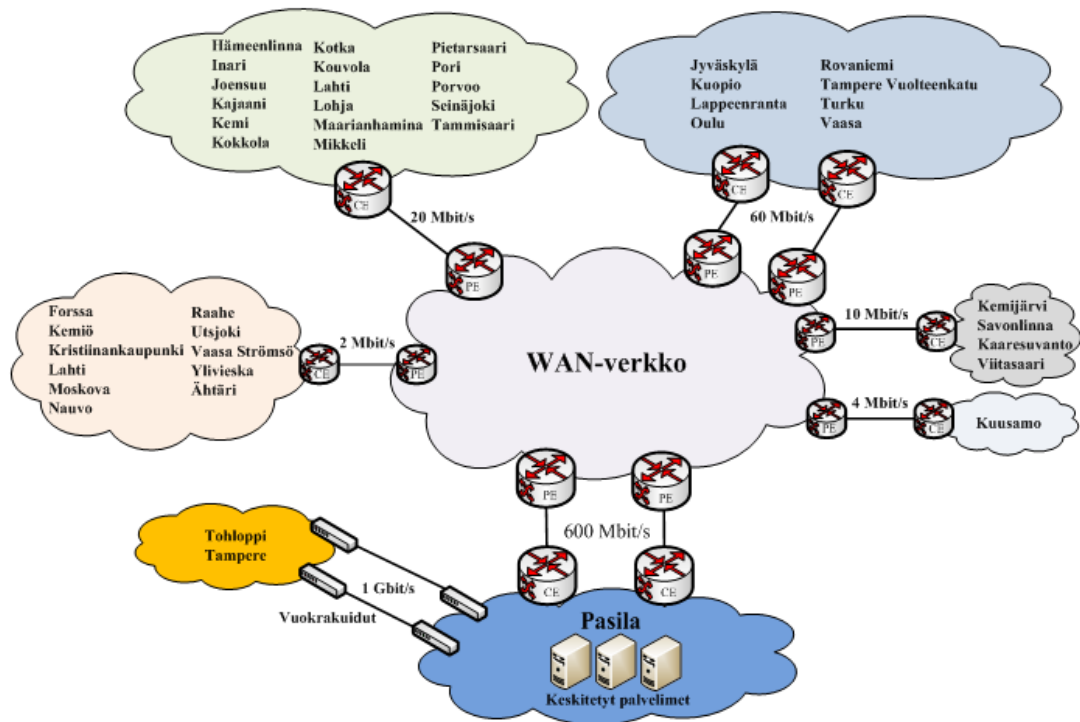
Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia sekä testata reaaliaikaisen ohjelmansiirtämistä kahden (2) Yleisradion aluetoimipisteen välillä. Aluetoimipisteinä toimii Oulu ja Pasila. Opinnäytetyö on tehty käyttämällä toiminnallista tutkimusmenetelmää. Opinnäytetyö on jaettu kahteen (2) aiheosuuteen. Aiheosuudet ovat teoriaosuus ja toiminnallinen osuus. Teoriaosuudessa käsitellään opinnäytetyön keskeisiä käsitteitä. Teoriaosuuden keskeisinä käsitteinä on mm. IP-verkon toiminta, projektissa huomioon otettavat haasteet ja reaaliaikaisen ohjelmansiirtoon liittyviä käsitteitä. Toiminnallisessa osuudessa keskitytään hankeprojektin eri vaiheiden läpikäymiseen. Toiminnallisessa osuudessa käsitellään mm. projektin toteutus, testien tulokset, projektin johtopäätökset ja kehitysehdotukset.

Vaikka Opinnäytetyö on tehty ensisijaisesti Yleisradion tekniikkaosaston luettavaksi, on opinnäytetyöstä pyritty tekemään mahdollisimman helppolukuinen. Pyrkimyksenä on, että opinnäytetyön lukemisen jälkeen lukija tietää, mitä asioita on otettava huomioon TV-tuotannon tarpeisiin räätälöidyssä IP-pohjaisessa reaaliaikaisessa ohjelmansiirrossa.

## 2 Työn tausta ja lähtökohdat

Opinnäytetyössä tarkastellaan Yleisradion laajaverkon (laajaverkon toiminta selitetty kohdassa 4.1) käyttömahdollisuuksia ja soveltuvuutta IP-pohjaisessa ohjelmansiirrossa. Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia ja testata, onko reaaliaikaisen ohjelmansiirtäminen, mahdollista toteuttaa hyväksikäyttäen yhtiön laajaverkkoa (wide area network). Yleisradiolla on yhdeksän (9) TV-tuotantoon valmista aluetoimipistettä. TV-tuotantoon valmiit aluetoimipisteet ovat Jyväskylä, Kuopio, Lappeenranta, Oulu, Pasila, Rovaniemi, Tampere, Turku ja Vaasa. Yleisradion WAN-verkko ja aluetoimipisteet ovat kuvattuna kuvassa 1. Tarkoituksena olisi, että WAN-verkkoa voisi käyttää esimerkiksi aamu-tv:n haastatteluissa. Haastattelut voitaisiin käydä siten, että haastattelija ja haastateltava olisi fyysisesti eri kaupungissa. Haastateltava henkilö voisi mennä häntä lähimpään aluetoimipisteeseen missä

on valmiudet TV-tuotantoon. Haastattelu voitaisiin tehdä ja lähettää WAN-verkon kautta reaaliaikaisesti. Opinnäytetyössä tutkittavalla tekniikalla olisi esimerkiksi mahdollista korvata nykyään käytössä olevat puhelinhaastattelut.



Kuva 1 Yleisradion laajaverkko

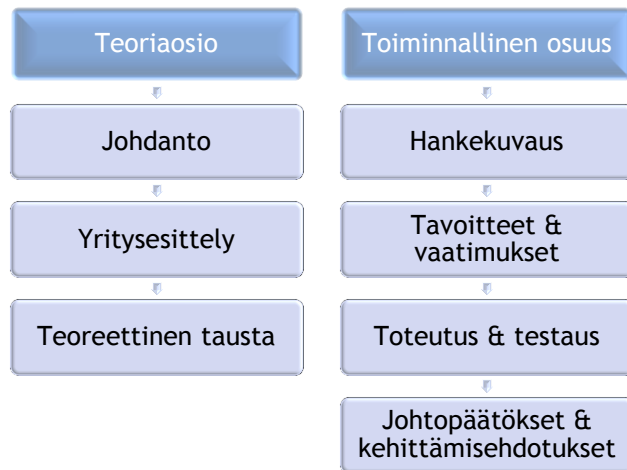
Yleisradio haluaa selvittää, mitä ongelmia IP-verkon kautta siirrettävässä reaaliaikaisessa ohjelmansiirrossa voi esiintyä ja miten ongelmat ratkaistaan. Opinnäytetyössä on myös otettava huomioon TV-tuotannon erityiset vaatimukset, jotka poikkeavat normaalista datasiirrosta. TV-tuotannossa on erittäin tärkeää, että lähetyksessä ei esiinny minkäänlaisia virheitä kuten kuvan pikselöitymistä tai kuvan pätkimistä. On myös erittäin tärkeää, että lähetyksesi ei katkea missään vaiheessa. Opinnäytetyön tarkoituksena on löytää erilaisia ratkaisuja, jolloin ohjelmansiirto IP-verkon kautta olisi toimiva ja turvallinen vaihtoehto.

Tarve opinnäytetyölle tulee Yleisradion toimesta. Yleisradio on aidosti kiinnostunut tutkimaan IP-verkkojen käyttömahdollisuuksia. Idea opinnäytetyölle pohjautuu European Broadcast Unionin (EBU) ja British Broadcast Companyn (BBC) yhteistyössä tekemiin testeihin. EBU ja BBC testasi vuoden 2012 alkupuolella IP-pohjaista ohjelmansiirtoa. Testit osoittivat, että ohjelmansiirto voi hyvinkin olla mahdollista. Testeissä kuitenkin ilmeni useita kysymyksiä, joihin ei saatu vastausta. EBU:n ja BBC:n tekemät testit toteutettiin erilaisilla laitteilla ja eri käyttötarpeisiin. Yleisradion tarkoituksena on suorittaa omat testaukset. Testit tullaan toteuttamaan Yleisradion tarpeisiin ja testeissä halutaan keskittyä reaaliaikaisen

ohjelmansiirtoon. Lisäksi EBU:n testeissä ilmeneviin ongelmakohtiin on löydettävä vastaus. Esimerkiksi BBC:n käyttämät verkkoyhteydet ovat nopeudeltaan moninkertaiset Yleisradion verkkoyhteyksiin. Yleisradion yhtenä tarkoituksena on selvittää, miten Yleisradion käyttämä toimistoverkko ja ohjelmansiirtoverkko saataisiin toimimaan yhtä aikaa.

## 2.1 Työn rakenne ja tulosmittarit

Opinnäytetyö rakentuu teoriaosioon ja toiminnalliseen osuuteen. Opinnäytetyö alkaa yritysesittelyllä ja lähtötilanteen selvityksellä. Opinnäytetyön alussa käsitellään, miksi tutkimus IP-verkon soveltuvuudesta reaaliaikaiseen ohjelmansiirtoon on tarpeellinen tehdä. Tarkoituksena teoriaosuudessa on tutustua ohjelmansiirtoon liittyviin vaatimuksiin sekä IP-verkkojen käsitteisiin. Teoriaosuuteen kuuluu johdanto, yritysesittely sekä työn teoreettinen tausta.



Taulukko 1 Opinnäytetyön rakenne

Teoriaosuus alkaa IP-verkkojen tutkimisella. Teoriaosuudessa selvitetään ohjelmansiirtoon liittyvät uhat ja mitä tekniikkaa käyttämällä ne voidaan selvittää. Teoriaosuudessa perehdytään kuljetuskerrosten protokoliin ja digitoidun audion- ja videonsiirtoon soveltuvaan sovellukseen. Lisäksi teoriaosuudessa selvitetään, mitä tekniikkaa hyväksi käyttäen varmistetaan lähetetyn tiedon kulkeminen IP-verkon kautta turvallisesti ja miten yritys- ja toimistoverkko voidaan saada toimimaan yhtäaikaaisesti. Toiminnallisessa osuudessa keskitytään hankeprojektin eri vaiheisiin. Toiminnallinen osuus alkaa selventämällä miten hankeprojektin läpivienti suunniteltiin. Toiminnallisessa osuudessa perehdytään tarkemmin projektin tavoitteisiin ja vaatimusten määrittelyyn. Toteutus ja testaus osiossa käydään läpi, miten projektin varsinainen fyysinen työ toteutettiin sekä esitetään testauksista saadut tulokset. Viimeisenä toiminnallisessa osuudessa käsitellään projektin johtopäätökset sekä pohditaan, mitä kehiteltävää projektissa olisi.





## 2.2 Tutkimusmenetelmät ja tavoitteet

Opinnäytetyö on tehty käyttämällä toimintatutkimusmenetelmää. Toiminnallinen tutkimusmenetelmä soveltui opinnäytetyöhön, koska opinnäytetyön tarkoituksena on testata uuden järjestelmän toimivuutta ja ominaisuuksia. Uuden järjestelmän käyttöönotto vaatii testauksia ja ongelman ratkointa, joten kirjallinen tutkimus ei olisi sopinut työn toteuttamiselle. Kanasen (2009) mukaan toimintatutkimus toimii ammatillisen oppimisen ja kehittymisen prosessina. Toimintatutkimuksen tarkoituksena on pyrkiä ratkaisemaan vastaantulevat ongelmat ja kehittää tutkittavan kohteen toimivuutta. Kanasen (2009) mukaan toiminnallisesta tutkimuksesta saadut tulokset ovat yksittäisiä ja niitä voi käyttää ainoastaan testatusta tapauksesta puhuttaessa. (Kananen 2009, 9-10, 23)

Tavoitteena opinnäytetyössä on tutkia ja testata voiko reaaliaikaista ohjelmansiirtoa toteuttaa WAN-verkon kautta onnistuneesti. Opinnäytetyön tavoitteena oli saada vastaus seuraaviin kysymyksiin:

- Voisiko nykyiset kuituyhteydet korvata IP-pohjaisilla yhteyksillä
- Mahdollinen pakettihävikki ja miten sen tuomat ongelmat ratkaistaan
- Viiveen ja viiveen vaihtelun tuomat ongelmat ja miten ne ratkaistaan
- Onko mahdollista saada sekä Ylen toimistoverkko sekä ohjelmansiirtoverkko toimimaan yhtä aikaa käyttäen samaa verkkoa

Testeistä saatujen tulosten perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä IP-verkon käyttömahdollisuuksista. Jos testit osoittavat ohjelmansiirron olevan mahdollista toteuttaa WAN-verkon kautta, on todennäköistä, että Yleisradio alkaa käyttää IP-pohjaista ohjelmansiirtoa yhtenä vaihtoehtona TV-tuotannossa (videohaastattelut jne.).

## 3 Kohdeyrityksen esittely

Tässä kappaleessa on tarkoitus esitellä opinnäytetyön kohdeyritys. Kohdeyrityksenä on Yleisradio Oy. Kappaleessa kerrotaan lyhyesti Yleisradion historia. Selvitetään mikä Yleisradio on yhtiönä ja mitä se pääasiallisesti tekee nykypäivänä, sekä miksi se on niin tärkeä suomalaisille. Kappaleessa tutustutaan Yleisradion tuottamiin moniin eri palveluihin. Lisäksi kappaleessa käydään läpi Yleisradion arvot sekä strategia.

### 3.1 Historia

Yleisradio aloitti toimintansa jo vuonna 1926 radion avulla. Yleisradion ensimmäisenä toimitusjohtajana toimi L. M. Viherjuuri. Perustajiin kuului radioliikkeitä, sanomalehtiä,

Puolustusvoimat, Lennätinhallitus ja monia muita eri alojen toimijoita. Vuonna 1958 Yleisradio aloitti ensimmäiset TV-lähetyksensä. Television suosio yllätti silloin kaikki. Kotimaiset elokuvat ja urheilutapahtumat keräsivät suomalaiset TV:n ääreen ja ensimmäisen kerran miljoonan TV-luvan raja meni rikki vuonna 1964 ja asiasta ilmoitettiin television erikoislähetyksellä. (Yleisradio Oy 2012.)

Vuonna 1965 Yleisradio alkoi lähettää omia uutisia sekä radion että television välityksellä. Nykyään Yleisradion lähettämiä uutisia pidetään Suomen ylivoimaisesti luotettavimpina. Yleisradio aloitti toimintansa myös Internetissä jo vuonna 1995, mikä oli aikanaan edistysaskel. Voidaan siis sanoa, että Yleisradio on ollut monella tapaa tekniikan edelläkävijä. Yle Areena esimerkiksi oli Suomen ensimmäinen verkkopalvelu, josta pystyi katsomaan televisio-ohjelmia sekä kuuntelemaan radio-ohjelmia. Elävä arkisto taas puolestaan oli maailman ensimmäinen arkistopalvelu, jossa video- ja radio-näytteissä on mukana tekstidokumentti, jolla pyritään kertomaan taustaa aiheesta. Yle Areena ja Elävä arkisto ovat selvästi suomalaisten arvostamia palveluita, koska ne valittiin vuonna 2011 Suomen arvostetuimmiksi palveluiksi Internetissä. (Yleisradio Oy 2012.)

### 3.2 Yle yhtiönä

Yleisradio on julkisen palvelun yhtiö. Ylen päätoimisena tarkoituksena on tuottaa palveluita kaikille suomalaisille. Tarkoituksena on, että ohjelmatuotanto pysyy viihtyisenä, yleishyödyllisenä ja monipuolisena. Yleisradion rahoitus kerätään Tv-lupamaksuilla joka tarkoittaa, että yhtiö voi toimia poliittisesti ja kaupallisesti riippumattomana (Yleisradion rahoitus tullaan vuoden 2013 alusta alkaen keräämään mediaverona). Koska Yleisradio on tarkoitettu kaikille suomalaisille, tuottaa se palveluja molemmilla kansankielillä eli suomeksi sekä ruotsiksi. Tällä hetkellä Yleisradiolla on käytössä neljä (4) Tv-kanavaa, kuusi (6) eri radiokanavaa, teksti-TV-palvelu ja Internet-palvelut. Viimeiset kymmenen (10) vuotta ohjelmatarjonta on lisääntynyt räjähdysmäisesti. Jo pelkästään kulttuuriohjelmien tarjonta on lisääntynyt 3000 tunnilla vuodessa Yle Teeman aloittamisen jälkeen. Yleisradion tuottamat uutis- ja ajankohtaisohjelmat ovat suomalaisille tärkeitä ja niitä seurataan paljon. Vuonna 2011 Suomen katsotuin televisiokanava oli TV1 (kanavan tarjonnasta uutis- ja ajankohtaisohjelmat kattavat yli puolet ajasta). Yleisradion lippulaivana pidetään sen tuottamia uutisia. Suomalaiset pitävät Ylen television ja radion kautta lähetettäviä uutisia Suomen luotettavimpina ja kyselyjen mukaan 43 % kansasta pitää Ylen uutisia ensisijaisena uutislähteenä. (Yleisradio Oy 2012.)

### 3.3 Ylen tuottamat palvelut

Yleisradio tuottaa lukuisia eri palveluita. Yleisradion käytössä on neljä (4) televisiokanavaa ja kuusi (6) radiokanavaa. Kotimaisista TV-ohjelmista Yle tuottaa 70 % ja yli 90 % toimitetuista radio-ohjelmista, sekä tietenkin Ylen sisältö on katsottavissa ja kuunneltavissa Internetissä. Kaikki ohjelmisto (radio sekä televisio) on jaettu kahdeksaan (8) eri kategoriaan: uutiset, ajankohtaisohjelmat, nuoriso/lapset, urheilu, viihde, kulttuuri, asia ja ruotsinkieliset ohjelmat. Yleisradion tuottamat palvelut ovat kuvattuna taulukossa 2. (Yleisradio Oy 2012.)

TV kanavat	Radio kanavat	Erikoispalvelut	Muita Ylen palveluita	Alueelliset palvelut
Yle TV1	Yle Radio 1	Äänitekstitys	Yle Areena	Alueuutiset TV
Yle TV2	Yle Radio Suomi	Ohjelmatekstitys	Yle Elävä arkisto	Aluetoimitukset
Yle Teema	YleX	Viittomankieliset uutiset	Yle Teksti-TV	Yle Saamen Radio
Yle Fem	Yle Radio Vega	Selkokieleiset uutiset	Yle.fi	
Yle HD	Yle X3M	Yle Klassinen (TV)	Svenska.yle.fi	
	Yle Puhe	Yle Mondo (TV/Radio)		
		TV Finland		
		YleSat 1 & 2		

Taulukko 2 Ylen tuottamat palvelut

### 3.4 Ylen arvot ja strategia

Yleisradio poikkeaa muista yrityksistä monella tapaa. Suurin poikkeavuus on varmasti se miten yhtiön toiminta rahoitetaan. Koska Ylen toiminta rahoitetaan kansalaisten toimesta, on yhtiö puolestaan eri asemassa lain silmissä. Toisin kun muut yritykset Yleisradiolle on erikseen laissa määritelty sen toiminta ja arvot. (Yleisradio Oy 2012.)

#### Suomalaisuus:

- Yle tuottaa yli 70 % kaikesta suomalaisesta ohjelmatarjonnasta.
  - Yritys toimii yli 20 paikkakunnalla työllistäen satoja suomalaisia.
- (Yleisradio Oy 2012.)

#### Luotettavuus:

- Kyselyn mukaan kymmenestä (10) luotetuimmasta uutislähteestä seitsemän (7) on Yleisradion uutislähteitä.
  - Yleisradion ohjelmatarjonta kattaa lähes koko maan (99 % kansalaisista).
- (Yleisradio Oy 2012.)

#### Monipuolisuus:

- Ylen ohjelmatarjonta on erittäin monipuolista koska Ylen tarkoituksena on tuottaa ohjelmistoa ja palveluita kaikille suomalaisille.
  - Sisältöä tuotetaan molemmilla äidinkielillä.
  - Näkö- ja kuulovammaispalvelut.
- (Yleisradio Oy 2012.)

Yleisradion tämänhetkinen strategia on suunniteltu vuosille 2012-2014. Strategia on rakennettu Ylen mielestä kahden erittäin tärkeän konseptin ympärille eli avoimuuden ja asiakaslähtöisyyden. Yle pyrkii toiminnallaan aina olemaan mahdollisimman avoin sekä sisäisesti että ulkoisesti. Avoimuudella pyritään siihen, että Ylen toiminnasta tulisi yksinkertaisempaa ja tehokkaampaa. Kaikki Ylen tuottama sisältö perustuu asiakaslähtöisyyteen. Yle pyrkii tuntemaan suomalaiset ja valitsemaan palveluidensa sisällön juuri suomalaisten toiveiden mukaisesti. (Yleisradio Oy 2012.)

## 4 Työn teoreettinen tausta ja keskeiset käsitteet

Tässä kappaleessa käydään läpi opinnäytetyön teoreettinen tausta ja TV-tuotannon ohjelmansiirrossa huomioon otettavia käsitteitä. Teoriaosuuden tarkoitus on tutustuttaa lukija opinnäytetyön keskeisiin asiakohtiin ja termeihin. Teoriatausta on pyritty rakentamaan niin sanotussa aikajärjestyksessä. Käsiteltävät asiat on pyritty laittamaan loogiseen järjestykseen, jolloin ohjelmansiirtoon liittyvä teoria on lukijan kannalta helpoin käsittää. Teoreettinen tausta on kerätty monista ulkomaisista ja suomalaisista lähteistä, jotka kukin käsittelevät omaa asiahaaraansa yleisellä tasolla. Teoriaosuuden lukemisen jälkeen lukija pystyy ymmärtämään IP-verkon toiminnan yleisesti ja TV-tuotannon ohjelmansiirrossa huomioon otettavat eri käsitteet.

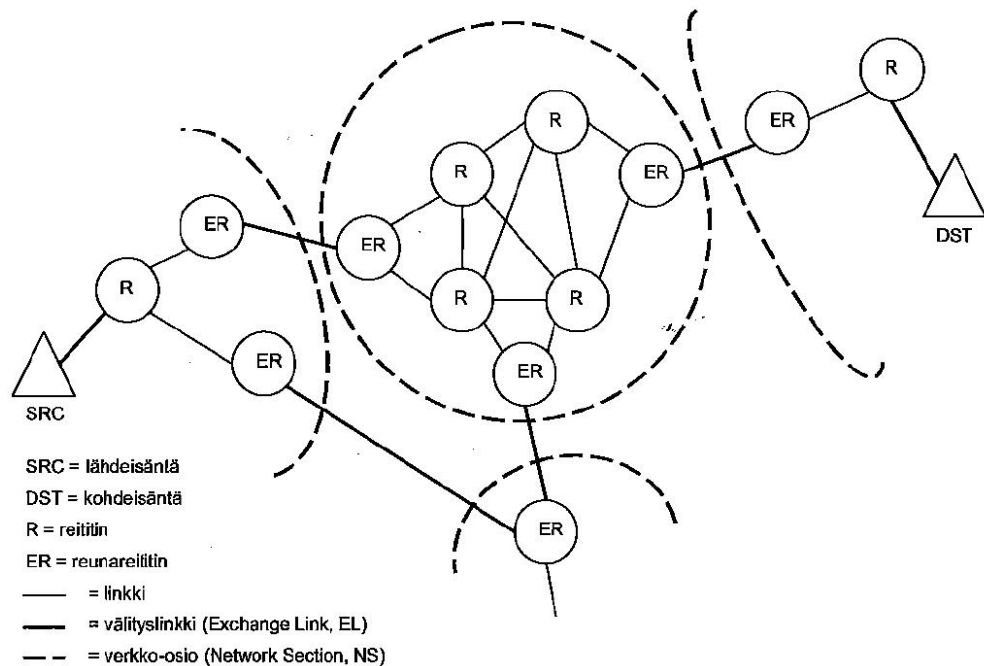
### 4.1 IP-protokolla & laajaverkko

Internet Protocol (IP) on epäluotettava kuljetusmekanismi. IP-protokollasta on käytössä kaksi versiota IPv4 ja IPv6. Merkittävin ero näiden kahden välillä on IP-osoitteen pituus. Tällä hetkellä yleisessä käytössä on IPv4 joka on 32-bittinen (esimerkki IPv4 osoitteesta 177.21.23.1). Koska jokainen verkkoon kytketty IP-osoite on yksilöllinen, on IPv4 tarjoama osoiteavaruus (kaikki mahdolliset osoitteet) loppumassa kesken. Tästä syystä on kehitetty IPv6, joka on 128-bittinen ja siten tarjoaa IPv4 verrattuna moninkertaisen osoiteavaruuden. (Comer 2005, 72-73.)

Vaikka IP-protokolla itsessään ei ole luotettava kuljetusmekanismi, tarjoaa se kolme (3) erittäin tärkeää toimintoa verkon toimintaan. Ensimmäiseksi IP-protokolla määrittää kaiken

verkossa kulkevan datan eli IP-paketit. Toiseksi IP-protokolla määrittää mitä reittiä IP-paketit kulkevat verkossa. Kolmanneksi IP-protokolla sisältää sääntöjä miten reitittimet ja palvelimet kohtelevat IP-paketteja. Sääntöjen perusteella määritellään esimerkiksi miten ja milloin vikailmoitus tehdään sekä missä olosuhteissa IP-paketit voidaan hylätä. (Comer 2005, 72-73.)

IP-verkossa jokainen laite (reitittimet ja palvelimet) päättävät itse mitä reittiä ne lähettävät saapuneen tiedon eteenpäin. Laitteiden ei toimiakseen tarvitse tietää lopullista pääteosoitetta tai alkuperäistä lähetysosoitetta. Laitteiden tehtävänä on päätellä ainoastaan mihin laiteelle saapuva data lähetetään seuraavaksi. Edellä mainittu toiminto toistuu niin kauan kun lähetetty data saavuttaa halutun pääteosoitteen. Reitittimelle saapuvaa dataa ei kuitenkaan lähetetä eteenpäin sattumanvaraisesti toivoen, että se joskus löytää oikean osoitteen vaan jokaisessa reitittimessä on reititystaulukot, joiden mukaan data lähetetään eteenpäin. Jokainen reititystaulukoissa oleva osoite määrittää yhden IP-verkon, aliverkon ja isännän. IP-verkon reititys on kuvattuna kuvassa 2. (Ballew 1998, 18-19.)



Kuva 2 IP-reititysalgoritmi (Koivula 2009, 29)

Laajaverkko eli Wide Area Network (WAN) sisältää kaksi tai useampia lähiverkkoja eli LAN-verkkoja (Local Area Network). WAN-verkon tehtävänä on yksinkertaisuudessaan yhdistää yrityksen, koulujen ja valtion eri toimipisteiden LAN-verkot. Yleisesti WAN-verkot toimivat kuituyhteydellä, mutta ne voidaan saada toimimaan kupariyhteyksillä tai jopa langattomasti. WAN-verkkopalvelu pitää erikseen tilata verkkopalveluiden tarjoajilta. WAN-verkon rakentaminen on erittäin vaikea toteuttaa ja vaatii toimiakseen tarkkaa suunnittelua. Poikkeustapauksissa, kuten maiden välisien WAN-verkkojen tekemiseen käytetään satelliitteja. Suurin osa WAN-verkoista toimii alle 1,5Mbit/s, mutta WAN-verkon

kaistanlaajuuden voi nostaa jopa 10Gbit/s. WAN-verkot toimivat usein siis hitaammin kun toimiston sisäiset LAN-verkot. WAN-verkot ovat kuitenkin yleistyneet viimeisen kymmenen (10) vuoden aikana ja WAN-verkkojen kaistan nopeudet kasvavat jatkuvasti. (Ciccarelli & Faulkner 2004, 270.)

#### 4.2 Haasteet käytettäessä IP-verkkoja

Vaikka IP-verkko on erittäin käytetty ympäri maailmaa ja monissa eri asiayhteyksissä, ei se oikeastaan sovellu televisiotuotannon käyttöön (ohjelmansiirto). Tästä syystä on monia eri asioita, jotka on otettava huomioon.

Viat & häiriöt: On tyypillistä, että IP-verkoissa esiintyy erilaisia häiriöitä, osa lähetetyistä paketeista voi hävitä tai olla viallisia. Vialliset tai hävitetyt paketit aiheuttavat kuvanlaadun heikkenemistä tai katkeamista, joka ei ole hyväksyttävää televisiolähetyksessä. (Nicholson, Westlake & Zeng 2012, 2.)

Viive & Puskurointi: IP verkko on pakettipohjainen. Tästä syystä on käytettävä puskureita jotka vähentävät samanaikaisesti tulevien pakettien aiheuttamaa ruuhkaa, mutta valitettavasti sillä on myös negatiivinen vaikutus, sillä se nostaa viiveen määrää. (Nicholson ym. 2012, 2.)

Pakettihävikki: Paketteja häviää aina silloin tällöin. Televisiotuotannon käytössä se ei ole hyväksyttävää, koska pakettihävikki vaikuttaa kuvanlaatuun. Tästä syystä paketti hävikin minimointiin on erittäin tärkeää. (Nicholson ym. 2012, 2.)

Kaistanleveyden suuruus: Yleensä IP-verkon kautta streamatut asiat kuten voice over IP (VoIP) eli esim. äänipuhelut, eivät vaadi suuria nopeuksia Internet-yhteydeltä. Koska kuvanlaadun pitää olla tarkka, on Internet-yhteyden oltava tarpeeksi nopea sen siirtämiseen. Esimerkiksi pakkaamaton HD video vaatii 1,5 Gbit/s. (Nicholson ym. 2012, 2.)

Suojaus: Jotkut ominaisuudet jotka ovat hyödyllisiä normaalissa datasiirrossa, ovat itse asiassa haitaksi TV-tuotannon käytössä. Esimerkiksi jos yhteys pettää/hajoaa voi yhteys reitittyä uudelleen. Uudelleenreititys lisää käytössä olevien reitittimien läpi kulkevaa liikennettä ja se voi aiheuttaa kuormitusta myös muuhun tietoliikenteeseen. (Nicholson ym. 2012, 2.)

Toimistoverkon ja ohjelmansiirtoverkon yhdessä toimiminen: Ohjelmansiirto- ja toimistoverkon on toimittava hyvin samanaikaisesti. Toimistoverkon käyttö ei saa aiheuttaa ohjelmansiirtoverkolle ongelmia. Kuitenkin on hyvä muistaa, että ohjelmansiirtoverkko ei saa

viedä liian suurta osaa koko kaistanleveydestä vaan toimistoverkon pitää aina olla toimiva. (Nicholson ym. 2012, 2.)

#### 4.3 Siirtoviive

IP-pohjaisten pakettien siirtoviive eli IP Packet Transfer Delay (IPTD). IPTD koostuu reitittimisestä ja linkeissä aiheutuvista viiveistä. Reitittimisessä tapahtuva viive muodostuu prosessointiviiveestä, jonotusviiveestä ja lähetysviiveestä. Linkeissä tapahtuva viive muodostuu etenemisviiveestä. Prosessointiviive muodostuu ajasta jolloin lähetetyn paketin otsikko-osuus tutkitaan ja päätetään mitä reitittämiä paketti käyttää. Prosessointiviive voi myös sisältää ajan mikä käytetään bittivirhekorjauksen tekemiseen (jos bittivirhekorjaus on käytössä). Jonotusviiveeseen kulutettu aika voi olla hyvin vaihteleva eri pakettien välillä. Jonotusviive riippuu usein reitittimen puskurin toiminnasta (jos reitittimellä on paljon paketteja jotka pitää puskuroida, jonotusviive nousee). (Kurose & Ross 2003, 43 -44.)

Lähetysviive muodostuu lähtevien pakettien pituudesta X-bittä ja ulospäin lähtevän linkin kapasiteetista Y-bittä/sekuntia. Lähetysviive lasketaan siis  $X/Y$ . Etenemisviive puolestaan muodostuu linkin fyysisestä etenemisnopeudesta (laitteiden fyysinen etäisyys). Fyysinen etenemisnopeus on lähes aina lähellä valonnopeutta (siis lähes 0,3 km/s). Suurin osa kokonaissiirtoviiveessä muodostuu reitittimillä tapahtuvissa prosesseissa, joten usein nopein reitti IP-verkon yli on reitti, jossa on vähiten reitittämiä. Reaaliaikaisen ohjelmansiirtämisessä IPTD on erittäin tärkeä osa-alue ja se pitää selvittää. Koska IPTD:hen vaikuttava lähetysviive muotoutuu aina lähtevän paketin pituudesta, pitää IPTD:tä mitattaessa käyttää samanmittaisia paketteja. (Kurose & Ross 2003, 43 -44.)

#### 4.4 IP-verkkojen protokollahierarkia

Fyysinen kerros eli kerros, missä lähetetty bittivirran kuljetetaan fyysisesti. Fyysinen kerros hoitaa siirtotien vaatimat sähköiset standardit ja signaalien jännitetasot. Kerroksessa on kaikki fyysiset laitteet kuten kaapelit ja hubit. (InetDaemon 2012.)

Siirtokerros huolehtii datan luontevasta siirrosta kerrosten välillä. Siirtokerros tarkastaa vastaanotetun datan ja tarkistaa onko siirrossa tapahtunut mahdollisia siirtovirheitä. Siirtovirhetarkistuksen jälkeen paketit lähetetään eteenpäin. Siirtokerroksella voidaan valvoa tulevaa dataliikennettä ja myös rajoittaa sitä. (InetDaemon 2012.)

Verkkokerros eli kerros missä IP (Internet Protocol) toimii. Verkkokerroksen tärkein tehtävä on lähtevien IP-pakettien reititys verkon yli. (InetDaemon 2012.)

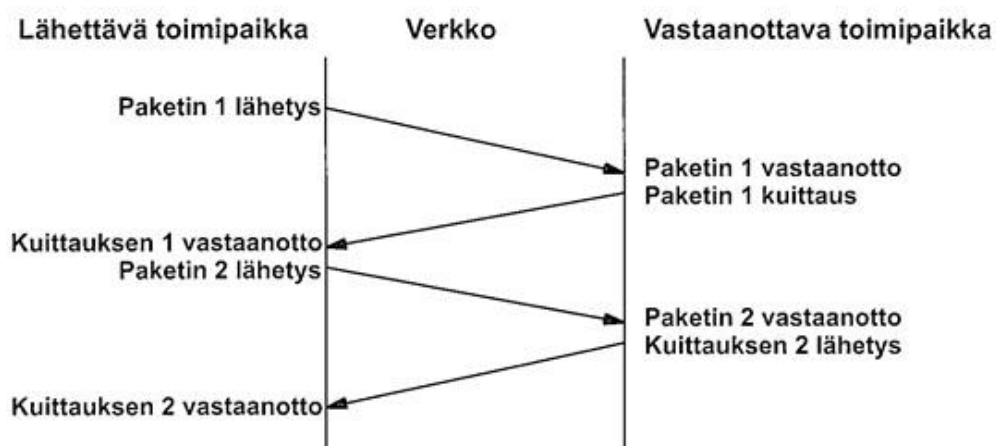


Kuljetuskerros huolehtii suoran yhteyden muodostamisesta lähettäjän ja vastaanottajan välille. Yleisimmät käytetyt protokollat kuljetuskerroksessa ovat Transmission Control Protocol (TCP) ja User Datagram Protocol (UDP) (kuljetuskerroksen protokollat ovat selitettynä kappaleessa 4.5). Kuljetuskerros huolehtii myös lähetettyjen pakettien perillepääsyn varmistamisesta ja voi korjata hävitetyt paketit. (InetDaemon 2012.)

Sovelluskerros sisältää tarvittavat protokollat sovellusten toimimiseen. Esimerkkinä tiedonsiirrossa käytettävä File Transfer Protocol (FTP) ja Real-Time Transport Protocol (RTP) jota käytetään reaaliaikaisessa ohjelmansiirrossa (RTP on selitetty kappaleessa 4.6). (InetDaemon 2012.)

#### 4.5 Kuljetuskerroksen protokollat

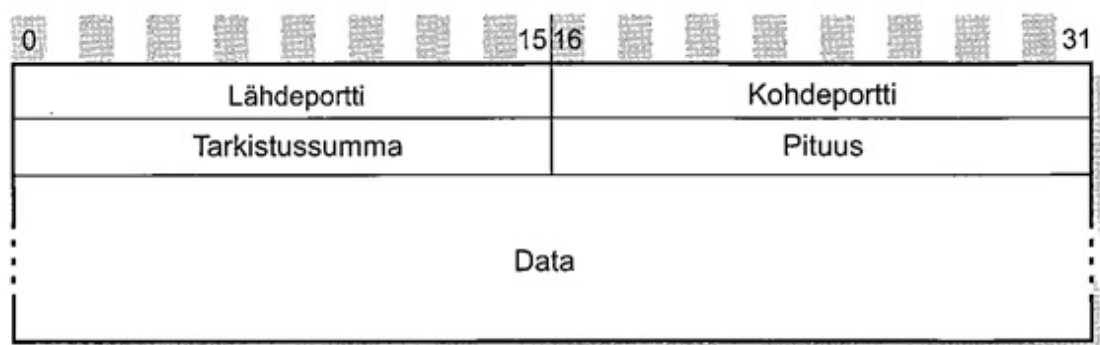
TCP/IP mallissa IP-pakettejen kuljetuksessa käytetään kahta (2) eri protokollaa. Protokollat ovat Transmission Control Protocol (TCP) ja User Datagram Protocol (UDP). TCP on erittäin käytetty kuljetuskerroksen protokolla. TCP muodostaa yhteyden kahden sovelluksen välille. Verkkokerroksella sijaitseva Internet Protocol (IP) on vastuussa IP-pakettien lähettämisestä ja reitityksestä, mutta se ei varmista IP-pakettien perillemenoa mitenkään. TCP:tä käytetään varmistamaan IP-pohjaisten pakettien perillemenon varmennus, kuittaus ja jonotus. TCP valvoo lähetettyjen ja vastaanotettujen pakettien määrän. Kun pakettiliikenteessä esiintyy puutteita, pyytää TCP lähettämään hävitetyt IP-paketit uusiksi. TCP myös jonottaa IP-paketit, eli huolehtii siitä, että kaikki IP-paketit tulevat kohteeseen oikeassa aikajärjestyksessä. TCP:tä käytettäessä pystytään siis varmistamaan dataliikenteen toimivuus. TCP:n paketin kuittaus toiminto on kuvattuna kuvassa 3. (Kabelová & Dostálek 2006, 503 -504.)



Kuva 3 TCP:n paketin kuittaus (Comer 2002, 212)

Paketinkuittaus ominaisuuden vuoksi TCP ei ole ideaalinen protokolla jos tarkoituksena on kuljettaa reaaliaikaista dataliikennettä. Siksi reaaliaikaisessa datasiirrossa käytetään usein TCP/IP-mallin toista kuljetuskerroksen protokollaa nimeltä User Datagram Protocol.

User Datagram Protocol on toinen TCP/IP mallin kuljetuskerroksen protokollista. UDP ei tarjoa IP-pakettien varmistamista tai jonotusta kuten Transmission Control Protocol (TCP) ja siksi se ei ole yhtä käytetty kun sen niin sanottu isovelji TCP. Koska UDP ei varmenna IP-pakettien kuljetusta, on se hyvin epäluotettava ja sitä ei ole syytä käyttää normaalissa tietoliikenteessä. UDP:llä on kuitenkin oma käyttötarkoituksensa. UDP:tä käytetään sellaisen dataliikenteen lähettämiseen jolle ei ole niin vakavaa jos IP-paketteja häviää matkalla, mutta yhteyden pitää pysyä synkronoituna eli pitkää siirtoviivettä ei saa tapahtua. Tällaisia voivat olla esimerkiksi videopuhelut henkilöiden välillä. UDP:tä käytettäessä on syytä käyttää esimerkiksi sovelluskerroksen protokollaa Real-Time Transport Protocol. (Kaario 2002, 156-157.)

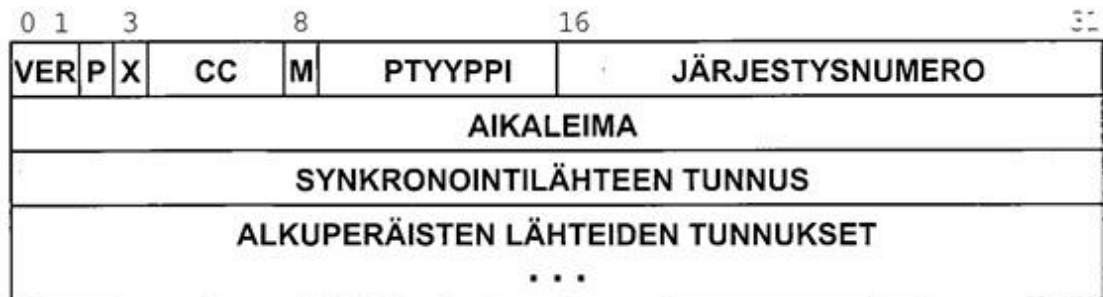


Kuva 4 UDP-kehysrakenne (Kaario 2002, 157)

UDP-kehys on hyvin yksinkertainen. Se sisältää vain kaksi eri aluetta, otsikkokentän ja datakentän. Kokonaisuudessaan UDP-kenttä on 32-bittinen. Ensimmäinen otsikkokentän osuus on lähdeportti (16-bittii) jossa tavallisesti kerrotaan UDP-portin numero. UDP-portin numeroa käyttää hyödykseen sen vastaanottava sovellus. Lähdeportti-kenttä on kuitenkin vapaaehtoinen eikä sitä tarvitse aina käyttää, jos lähdeporttikenttää ei käytä, pitää se täyttää nolilla. Seuraavaksi tulee kohdeporttikenttä joka on myös 16-bittinen. Kohdeporttikenttä sisältää vastaanottavan tietokoneen portin tiedot. Otsikkokentän tarkistussummakenttä (16-bittinen) tarkistaa, onko lähetetty data vaurioitunut lähetysten aikana. Tarkistussumma lasketaan ennen lähettämistä ja summaa verrataan vastaanotettuun dataan. Viimeinen otsikkokentän osuus on pituuskenttä. Pituuskenttä (16-bittinen) kertoo datanpituuden oktetteina. Pituuskenttä sisältää sekä otsikkokentän että datakentän tiedot. Pituus on oltava vähintään kahdeksan (8) oktettia, koska UDP-otsikko on jo itsessään kahdeksan (8) oktetin mittainen. (Casad & Willsey 1999, 106 -107.)

#### 4.6 Real-Time Transport Protocol

Real-Time Transport Protocol eli RTP:tä käytetään yleisesti reaaliaikaisen audion- ja videonsiirrossa IP-verkoissa. RTP ei itsessään sisällä mitään mekanismia joka varmistaisi ajoitetun kuljetuksen. Varmistuksen hoitaa käytettävä kuljetusjärjestelmä. RTP tarjoaa kuitenkin kaksi reaaliaikaiseen audion- ja videonsiirrossa tärkeää ominaisuutta. Paketteihin liitetään juokseva numerointi, jonka perusteella paketin vastaanottaja havaitsee mahdolliset puuttuvat paketit ja pystyy pakettien numeroinnin ansiosta asettamaan saapuvat paketit haluttuun järjestykseen. RTP liittää paketteihin myös aikaleiman. Aikaleiman avulla vastaanottaja voi hallita videon toistoa. RTP on tarkoitettu kaikenlaiseen reaaliaikaisen audion- ja videonsiirtoon ja ei millään tavalla määritä miten paketin sisältö on tulkittava. Tästä syystä jokaisen paketin alussa on otsikko, jonka tehtävänä on määrittää, kuinka paketin sisältämä data tulisi tulkita. (Comer 2002, 542.)



Kuva 5 RTP-kehysrakenne (Comer 2002, 542)

RTP-kehysrakenne on kuljetuskerroksella sijaitsevien TCP- ja UDP-protokollan kehysrakennetta monimutkaisempi. RTP-kehysrakenne on kuvattuna kuvassa 5. RTP-paketin alussa on kaksi (2) bittiä käsittelevä Ver-kenttä. Ver-kentän tarkoituksena on määrittää RTP-protokollan versio. Jotkin sovellukset käyttävät jatko-osaa ja silloin kuvassa oleva X-kenttä kertoo sisältääkö RTP-paketti mahdollisia jatko-osia. Seitsemän (7) bittinen ptyyppi-kenttä määrittää, miten RTP-pakettien sisältämä data tulkitaan. Ptyyppi-kentän mahdollistamaa lopputäyttöä käytetään, jos datan koodausjärjestelmä sitä vaatii. Koodausjärjestelmä voi vaatia lopputäyttöä, jos tallennus pitää tehdä ennalta määrättyihin kiinteänpituisiin lohkoihin. Ptyyppi-kenttä määrittää myös, miten aikaleima-kenttä toimii. Järjestysnumero-kentässä on kuusi (6) bittinen järjestysnumero. Ensimmäisessä lähetetyssä RTP-paketissa järjestysnumero on määritelty aina satunnaisluvulla (muut määräytyvät ensimmäisen numeron mukaan). Aikaleima-kenttä on arvoltaan 32-bittiä. Aikaleima-kentän tiedoista näkee milloin RTP-paketin ensimmäinen oktetti digitalisoitiin. Ensimmäisen paketin aikaleima määritellään satunnaisluvulla. Aikaleima kasvaa sen jälkeen jatkuvasti, myös silloin kun lähetetty signaali lopetetaan eli kun datan lähetys lopetetaan. Se kuinka usein aikaleima on lähetettävä (kuinka

usein aikaleima päivitetään) määrittäyty datatyypin mukaan. Sovellukset valitsevat siis tarpeen mukaan kuinka pitkä aikaväli on. (Comer 2002, 543.)

Synkronointilähteen tunnus-kentän tehtävänä on virran lähteen määrittelemine. Jokainen lähde valitsee 32-bittisen tunnuksen. RTP sisältää mekanismin, jonka avulla mahdolliset lähteiden valintaan liittyvät ristiriidat pystytään ratkaisemaan. On siis hyvinkin mahdollista, että lähteiden tiedot vaihtuvat alkuperäisestä tunnuksesta. Muuttuneiden lähteiden tunnukset tallentuvat alkuperäisten lähteiden tunnukset-kenttään. CC-kenttä määrittää kuinka paljon alkuperäisten lähteiden tietoja säilytetään (maksimissaan 15 eri lähdetunnusta). (Comer 2002, 543.)

Real-Time Transport Protocol (RTP) ei nimestään huolimatta ole kuljetuskerroksen protokolla. RTP käyttää toimiakseen User Datagram Protokollaa eli UDP:tä joka on kuljetuskerroksen protokolla (UDP selitetty kohdassa 4.5). RTP:n lähettämät sanomat kapseloidaan UDP:n kuljettamaan dataan. Suurin hyöty UDP:n käyttämisestä on sen mahdollistama monien eri RTP sovellusten käyttäminen samanaikaisesti tietokoneessa. RTP ja UDP toimivat hyvin yhdessä, koska RTP ei käytä UDP-porttiosoitteita (kuten muut sovellusprotokollat käyttävät). RTP:tä käytettäessä portti on varattava aina ennen istunnon alkamista ja tarvittava porttinumero ilmoitetaan vastaanotto-sovellukselle. RTP pyrkii valitsemaan aina parillisen UDP-porttinumeron. (Comer 2002, 544.)

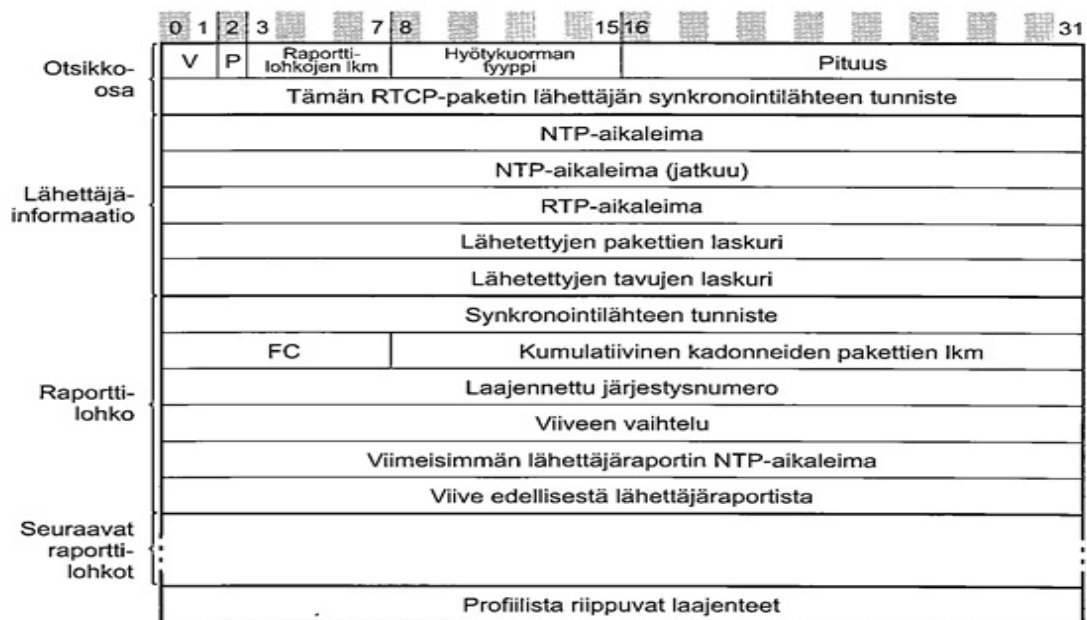
#### 4.7 RTP Control Protocol

RTP:n tarkoitus on siis tarjota sovellukselle mekanismit reaaliaikaisen audion- ja videon vastaanottoon. Real Time Control Protocol (RTCP) puolestaan tarjoaa käyttäjälle ylimääräistä tietoa verkossa tapahtuvasta liikenteestä sekä liikenteen laadusta. RTCP määrittelee monia erilaisia sanomatyyppjejä ja lähettää ne UDP:n kautta. UDP-kehys voi sisältää monia RTCP sanomia, eli sanomatyyppjejä ei tarvitse lähettää yksitellen. RTCP-tietojen osuus kokonaisliikenteestä saa olla maksimissaan 5 % joten RTCP-lähetysten aikaväli (kuinka usein RTCP-tietoja lähetetään) joudutaan erikseen säätämään. RTCP-tiedostojen aikaväli säädetään sen mukaan kuinka monta eri laitetta on käytössä kussakin RTP-lähetyksessä. (Kimmo 2002, 161.)

RTCP:n lähettäjäraportin tehtävä on yksinkertaisuudessaan välittää laadun tarkkailuun liittyviä tietoja. RTCP:n lähettäjäraportista käytetään myös lyhennettä SR (Sender Report). Laadun tarkkailussa tärkeänä tietona toimivat aikaleimat ja laskurit. RTCP lähettäjäraportti on kuvattuna kuvassa 6. SR muodostuu neljästä (4) eri otsikko-osasta, lähettäjäinformaatio-osasta ja kahdesta raporttilohkosta. Otsikko-osuus alkaa versionumerolla (V-kenttä). Versionumero ilmaistaan raportin alussa olevalla kahdella (2) ensimmäisellä bitillä.

Versionumero on aina sama kun samoilla RTP-paketeilla. Otsikko-osuudessa toisena ilmoitetaan P-kenttä, jonka tarkoituksena on selvittää tarvitaanko paketeissa mahdollisesti täytetäviä. Täytetäviä tarvitaan jos RTP-kehiksen pitää olla tietyn pituinen (esimerkiksi jos salaustietelmä vaatii sitä). P-kentän (1-bittinen) jälkeen seuraavat viisi (5) bittiä ilmaisee raporttilohkojen lukumäärän. Hyötykuorman tyyppi-kenttä on kahdeksan (8) bittiä. (Kimmo 2002, 161-162.)

SR:n pituus-kenttä lasketaan kuinka monta 32-bittistä sanaa lähetinraportti sisältää jonka jälkeen siitä vähennetään yksi (1). Pituuteen lasketaan myös otsikko ja täyte (koko paketti). Alkuperäisen RTCP-paketin lähettäjän synkronointilähteen tunniste (32-bittiä) kuuluu myös lähettäjäraportin otsikko-osaan. (Kimmo 2002, 161-162.)

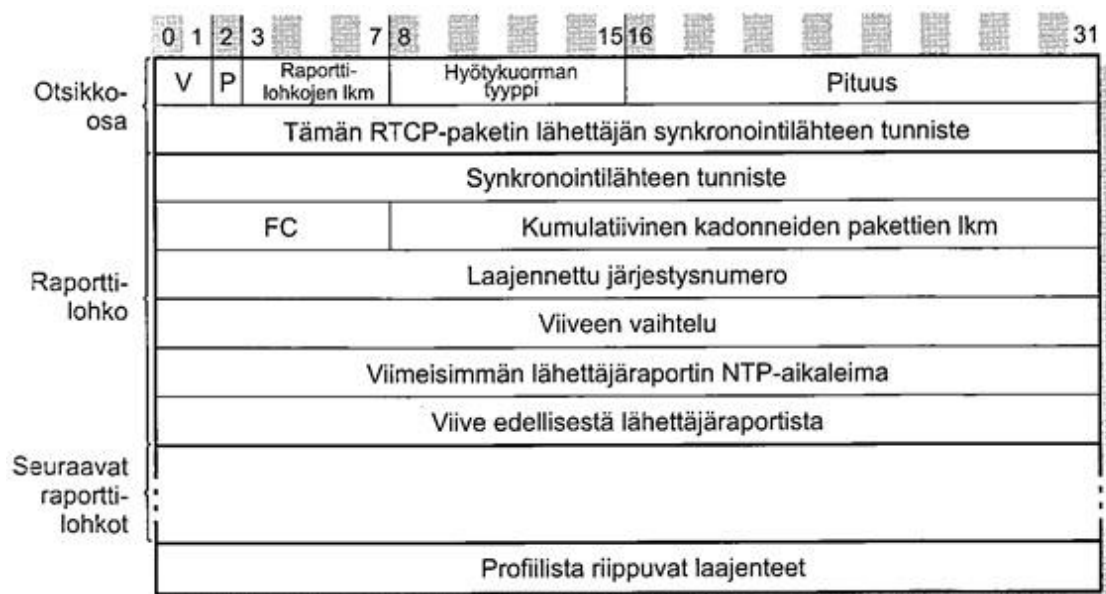


Kuva 6 RTCP:n lähettäjäraportti (Kimmo 2002, 162)

Otsikko- ja lähettäjäinformaatio-osuus ovat pakollisia lähettäjäraportissa, mutta niiden jälkeen tulevat raportti-lohkot eivät ole. Lähettäjäinformaatio-osuuden ensimmäisenä on Network Time Protocol (NTP-aikaleima). NTP-aikaleima on kokonaisuudessaan 64-bittiä pitkä. Seuraavaksi ilmoitetaan RTP-aikaleima. RTP-aikaleima on pituudeltaan 32-bittiä. NTP- ja RTP-aikaleiman tarkoituksena on antaa tärkeää informaatiota aikaan ja sen synkronointiin liittyvistä asioista. Lähetettyjen pakettien laskuria tutkimalla voidaan tietää kuinka monta pakettia lähettäjä on alunperin lähettänyt (laskuri on kokonaisuudessaan 32-bittiä). Lähetettyjen tavujen laskuri toimii samantapaisesti kun lähetettyjen pakettien laskuri, mutta sillä lasketaan pakettien sijaan lähetettyjä tavuja (lähetettyjen pakettien laskuri on myös 32-bittinen). (Kimmo 2002, 162-163.)

Raporttilohkot eivät siis ole pakollisia lähettäjänraportin-osia. Ne kuitenkin sisältävät paljon tärkeää tietoa lähetylähteestä. Raporttilohko alkaa synkronointilähteen tunnisteella jonka avulla jokainen raportti-lohko pystytään yhdistämään oikeaan lähteeseen. FC (Fraction lost) ja kumulatiivinen kadonneiden pakettien lukumäärä-kenttää tutkimalla saadaan selville, kuinka monta alkuperäisesti lähetetyistä paketeista tuli perille haluttuun osoitteeseen. Laajennettu järjestysnumero (32-bittiä) ilmoittaa RTP-protokollan järjestysnumeron, sekä kuinka monta kertaa numerolaskuri on alkanut alusta. viiveen vaihtelun avulla RTCP voi tehdä johtopäätöksiä verkon toiminnasta. Jos viive vaihtelee paljon, on asialle tehtävä jotain sovellustasolla. Raporttilohkon lopussa on tiedot viimeisimmän lähettäjäraportin NTP-aikaleimasta ja viiveestä edelliseen lähettäjänraporttiin (molemmat ovat 32-bittisiä). (Kimmo 2002, 162-163.)

RTCP:n vastaanottajareportti (RR) on monilta osin samankaltainen kun RTCP:n lähettäjäraportti, mutta selkeästi suppeampi. RR:n avulla saadaan kuitenkin tärkeää lisäselvitystä verkon tilasta ja toimivuudesta. RR:ssä keskitytään suureksi osaksi hävitettyihin paketteihin ja viiveeseen. RR:stä puuttuu kokonaan SR:stä löytyvät aikaleima- ja laskuritiedotteet. Raporttilohkot ovat kuitenkin identtisiä SR:n kanssa. RR on kuvattuna kuvassa 7. (Kimmo 2002, 163.)



Kuva 7 RTCP:n vastaanottajareportti (Kimmo 2002, 163)

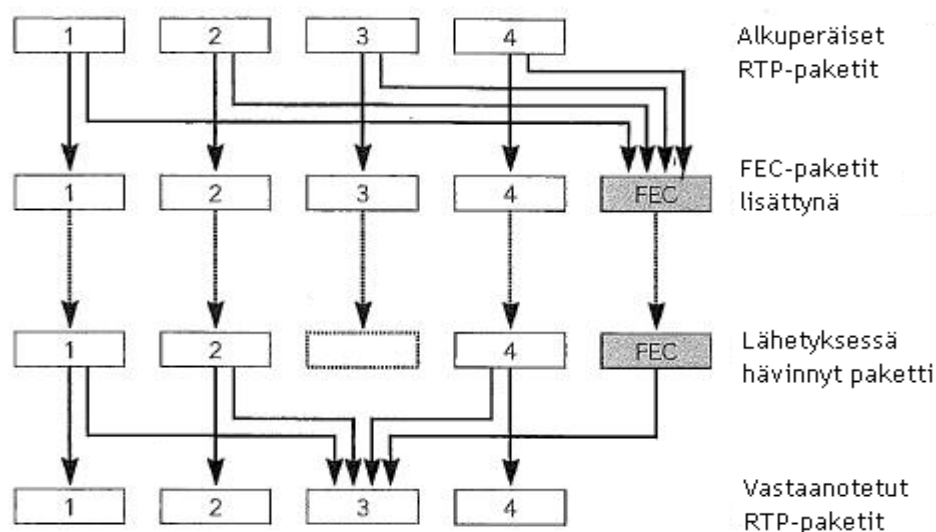
#### 4.8 Virheenkorjaus

IP-pohjaisessa liikenteessä syntyy aina pakettien häviämistä. Pakettien häviämistä voidaan yrittää estää tai korjata jo hävitettyjä paketteja. Virheenkorjauksessa käytetään usein Forward error correction eli FEC-algoritmeja. FEC-algoritmit muuntavat bittivirran lisäämällä

siihen FEC tiedostoja joita voidaan myöhemmin käyttää hävitettyjen pakettien korjaamiseen. FEC toiminta on kuvattuna kuvassa 8. FEC on hyvin suosittu dataliikenteessä missä ei saa esiintyä pakettihävikkiä kuten digitaalisessa ohjelmansiirrossa. (Perkins 2003, 252 -253.)

FEC käytettäessä pitää käyttäjän valita kuinka paljon FEC-tiedostoja on tarpeellista lisätä dataan. Lisättyjen FEC-tiedostojen määrä perustuu käytössä olevan Internet-verkon ominaisuuksiin. Internet-verkon toimivuuden tiedot saa esimerkiksi tutkimalla RTCP:n raportteja (selviää hävitettyjen pakettien määrä). FEC voi siis teoriassa korjata hävitetyt paketit, mutta todellisuudessa se ei kykene korjaamaan jokaista hävitettyä pakettia. FEC käytössä on myös huomioitava se, että FEC lisää tiedostoja datavirtaan joka tarkoittaa sitä, että lähetetystä datasta tulee suurempi kun se oli alun perin. FEC:n käytöllä voi olla myös haittavaikutuksia. Koska FEC:n käyttö tekee lähetetystä datasta suuremman kun se oli alun perin, vaatii se toimiakseen Internet-verkolta tarpeeksi suuren kaistanleveyden datan kuljettamiseen. Dataliikenteen määrän nouseminen voi nostaa verkossa olevaa ruuhkaa mikä puolestaan voi aiheuttaa pakettien häviämistä (FEC käyttämällä saatu hyöty häviää). (Perkins 2003, 252 -253.)

Oikeanlaisen FEC:n määrän asettaminen on siis tärkeää. Täydelliseen pakettihäviön korjaukseen ei kannata pyrkiä. FEC asettaessa pitää ymmärtää minkä suuruinen pakettihävikki on hyväksyttävä. Jos FEC toimii kuten sen pitää, pakettihäviön pitäisi pysyä suhteellisen samana. Esimerkiksi jos FEC on suunniteltu korjaamaan 5 % hävitetyistä paketeista, se ei korjaa kaikkia hävitettyjä paketteja jos kokonaishävikki on laskettu olevan 10 %. On myös hyvä muistaa, että FEC voi korjata hävitetyt paketit vain kun paketit saapuvat vastaanottajalle. FEC:n käyttö voi siis lisätä kokonaisviivettä. (Perkins 2003, 252 -253.)



Kuva 8 FEC:n toiminta

FEC-algoritmeja on paljon erilaisia. Eräs suosituimmista korjauskoodeista on matemaattiseen laskukaavaan perustuva XOR-pariteettikoodaus. XOR-pariteettikoodaus on toiminnaltaan yksinkertainen ja tehokas. XOR-laskukaava on esitettyä alapuolella.

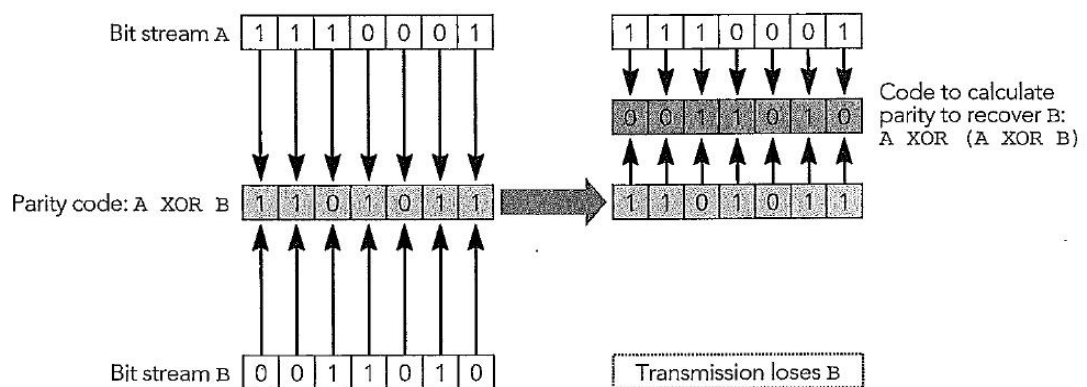
$$0 + 0 = 0$$

$$1 + 0 = 1$$

$$0 + 1 = 1$$

$$1 + 1 = 0$$

Laskukaavaa käyttämällä pystytään havaitsemaan ja korjaamaan puuttuvat bittijonot. Jos pariteetti-FEC:n laskennalla suojataan kaksi bittijonoa esimerkiksi bittijono A & B (Bit stream A & Bit stream B) ja siirrossa hukataan bittijono B (Transmission loses B), on se mahdollista laskea pariteetti-FEC avulla ja näin korjata hävitetty bittijono (esitettyä kuvassa 9). (Perkins 2003, 254 -255.)



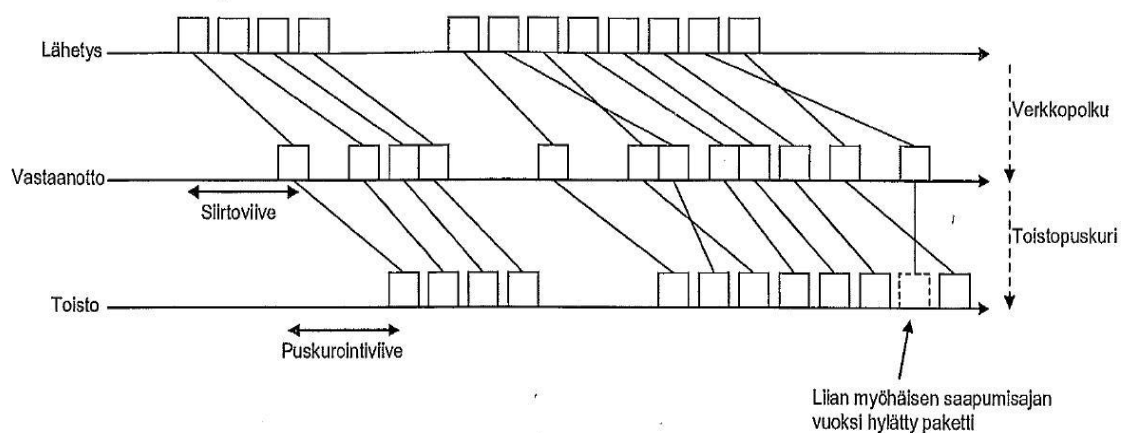
Kuva 9 Pariteetti-FEC:n toiminta (Perkins 2003, 255)

#### 4.9 Puskurointi

IP-verkon kautta siirrettävässä reaaliaikaisessa datasiirrossa syntyy aina viivettä lähettäjän ja vastaanottajan välillä. Viive syntyy kun lähetetyt paketit saapuvat vastaanottajalle samanaikaisesti. Samanaikaisesti saapuvat paketit aiheuttavat vastaanottopäässä erityisesti viiveen vaihtelua. Viiveen vaihtelun poiskitkemistä varten on käytettävä puskurointia. Vastaanottopäässä olevaa puskurointia kutsutaan yleensä nimellä Playout Buffering. Puskuroinnin tarkoitus on vastaanottaa lähetetty data ja lomittaa paketit siten, että datan toistossa ei esiintyisi viiveen vaihtelua. Valitettavasti siirtoviiveen vaihtelun laskemiseen ei ole olemassa standardimaista laskukaavaa vaan puskurointi pitää määrittää erikseen jokaiseen sovellukseen. Puskurointi määritellään tutkimalla verkon tilaa ja selvittämällä kuinka paljon samanaikaisesti saapuvia paketteja esiintyy. (Perkins 2003, 184 -185.)



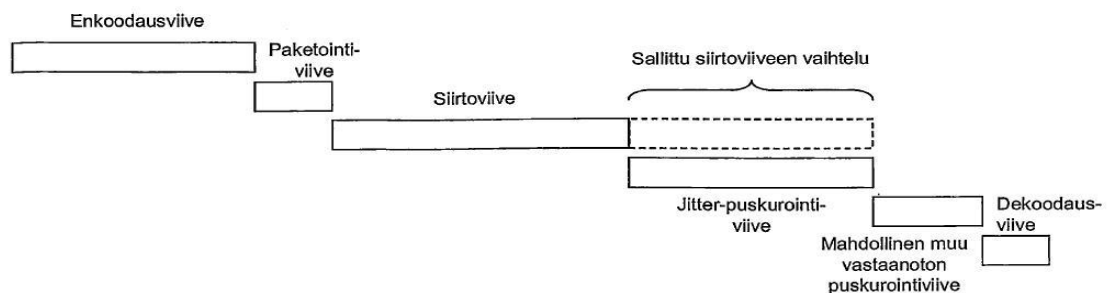
Puskuroinnin määrittämisessä on muistettava, että aika jonka data viettää puskurissa lisää kokonaisviivettä. Sen takia oikeanlaisen puskurointiviiveen määrittäminen on erittäin tärkeää eli datan tulisi viettää puskurissa mahdollisimman vähän aikaa. Kuitenkin on huomioitava, että liian lyhyen tai pitkän puskurointiviiveen määrittelemine tuo omat ongelmansa. Jos puskurointiviive asetetaan liian lyhyeksi voi siirtoviiveen vaihtelu aiheuttaa puskurin tyhjenemisen joka aiheuttaa virheitä dataa toistettaessa. Liian pitkään puskurissa oleva data voi aiheuttaa puskurin täyttymisen jolloin puskurin on tiputettava paketteja pois tehdessään tilaa uusille paketeille (tiputetut paketit aiheuttavat ongelmia datan toistossa). Puskurin toiminta on kuvattuna kuvassa 10. (Perkins 2003, 184 -186.)



Kuva 10 Puskurin toiminta (Koivula 2009, 58)

#### 4.10 Kokonaisviive

Jokainen reaaliaikaisen audion- ja videonsiirtoon liittyvä prosessi lisää sovellukseen kohdistuvaa kokonaisviivettä. Kaiken kaikkiaan kokonaisviiveeseen vaikuttavia tekijöitä on viisi (5). Enkoodausviive, paketointiviive, siirtoviive, puskurointiviive ja dekoodausviive. Kokonaisviiveen muodostuminen on kuvattuna kuvassa 11.



Kuva 11 Kokonaisviiveen muodostuminen (Koivula 2009, 60)

Enkoodausviiveellä tarkoitetaan aikaa joka kuluu datan (audio- ja videodata) keräämiseen ennen kun varsinainen prosessi voi alkaa. Audiokoodekit tarkastelevat audiodatasta näytejonoja. Näytejonojen keräämiseen kuluva aika määrittyy siitä miten pitkiä audionäytteet ovat ja mitä enkoodausalgoritmia käytetään. Myös videodata enkoodataan (käy läpi saman prosessin). Audio- ja videodata käsitellään erikseen. Enkoodausviive muodostuu siis audio- ja videodatan enkoodaukseen kuluva ajasta. Vasta kun kaikki data on kerätty ja enkoodattu voi seuraavat prosessit alkaa. (Firestone & Ramaligam 2007, 241.)

Reaaliaikaisessa audion- ja videonsiirrossa käytettävät RTP-paketit on käsiteltävä. Tätä prosessia kutsutaan paketoitiviiveeksi. Paketoitiviiveeseen vaikuttaa tietenkin enkoodattujen näytejonojen määrä esimerkiksi audio-RTP-paketit voivat sisältää useita eri näytejonoja. Paketoitiviiveeseen voi siis vaikuttaa pienentämällä pakettien kokoa. Enkoodatun videodatan paketoiminen RTP-pakettiin voidaan määritellä jokaisen enkoodausalgoritmin RTP-enkapsulointiformaatin dokumentin avulla. Paketoitiviive muodostuu siis ajasta joka kuluu enkoodattujen audio- ja videodatan keräämisestä aina siihen kun RTP-paketit ovat valmiina lähetettäväksi verkkoon. (Firestone & Ramaligam 2007, 241.)

Siirtoviive on selitetty kappaleessa 4.3

Puskuroitiviive on selitetty kappaleessa 4.9

Dekoodausviive muodostuu datan dekodaukseen kuluvalle ajalle. Dekodauksella tarkoitetaan käytännössä enkoodauksen vastakohtaa eli kun vastaanottopäähän saapuva data puretaan. Dekoodausprosessi voi alkaa kun ensimmäinen bittijono otetaan vastaan. (Firestone & Ramaligam 2007, 243.)

Yksisuuntaisessa audion- ja videonsiirrossa (esimerkiksi streaming) kokonaisviiveellä ei oikeastaan ole merkitystä. Kaksisuuntaisissa yhteyksissä esimerkiksi videoneuvotteluissa sekä videohaastatteluissa kokonaisviive pitää ottaa huomioon. Kaksisuuntaisissa yhteyksissä kokonaisviive voi aiheuttaa keskustelevien henkilöiden puheen menevän päällekkäin. Päällekkäin menevä puhe on häiritsevää ja se voi häiritä keskustelijoita. Taulukossa 3 on esiteltynä viitteelliset suositukset kokonaisviiveen suuruudesta.

Kokonaisviive	Kuvaus
0-150 ms	Hyväksyttävä viive
150-400 ms	Viiveen vaikutukset ovat haitallisia (osalle käyttäjistä vielä hyväksyttävä)
Yli 400 ms	Ei siedettävissä oleva viive

Taulukko 3 Kokonaisviiveen suositukset

#### 4.11 Palvelun laatu

Palvelun laatu on paremmin tunnettu termillä Quality of Service eli QoS. QoS on dataliikenteen hallintaan tehty apuväline. QoS voidaan käyttää niin koti- kun yritysverkkoliikenteen hallinnointiin. QoS mahdollistaa kaistanleveyden hallinnoinnin ja sen avulla pystyy huomioimaan jos verkon toiminta jostain syystä muuttuu. Esimerkki verkkotoiminnan muuttumisesta on äkillinen ruuhkan synty. Silloin kun verkkotoiminnassa esiintyy ruuhkaa, on QoS tehtävänä määritellä minkä liikenteen pitää toimia parhaiten. QoS voidaan siis asettaa tarkkailemaan verkossa liikkuvaa dataa ja jos ruuhkan mahdollisuus ilmenee QoS jakaa kaistanleveyttä tärkeimmälle dataliikenteelle. Tärkeänä dataliikenteenä voi pitää esimerkiksi ääni- ja videoliikennettä. (Microsoft 2012.)

Differentiated Services Code Point (DSCP) avulla voidaan pakettiliikenne jakaa eri luokkiin. Jokaiselle paketille voidaan antaa DSCP-arvo. DSCP-arvon antamisen jälkeen verkko pystyy luokittelemaan datapaketin tärkeyden oikein. Teoriassa DSCP luokkia voi olla maksimissaan 64 (0-63). Jokaiselle luokalle voidaan merkitä joko numerollinen tai nimellinen arvo. Nimellä merkittyjä DSCP-arvoja kutsutaan nimellä Per-Hop Behaviours (PHB). Yleensä dataliikenne luokitellaan neljään (4) eri PHB-arvoon. PHB-arvot ovat: Best Effort, Class Selector, Assured Forwarding ja Expedited Forwarding. Lisäksi jokaiselle edellä mainittu PHB-arvolle voidaan määrittää kolme eri pakettihävikki luokitusta. PHB-arvojen pakettihävikki luokitukset ovat: alhainen-, keskinkertainen- ja korkea hävikki. (APT Ltd 2009, 10-11.)

Best Effort (BE) on oletusarvona kaikessa IP-pojaisessa dataliikenteessä. BE-luokitus ei varmenna datan perillemenoä mitenkään. BE ei myöskään varmenna perille saapuvan datan laatua mitenkään. (APT Ltd 2009, 11.)

Class Selector (CS) on ensimmäinen QoS-luokka jonka tarkoituksena on pyrkiä varmistamaan lähetetyn datapaketin perille vienti. CS-laatulokan paketit on helppo tunnistaa siitä, että niiden bittinumerot päättyvät aina kolmeen nollaan (esim. 111000 ). (APT Ltd 2009, 11.)

Assured Forwarding (AF) palvelun laatuluokitus tarjoaa datavirran perillemenon, niin kauan kun kuljetettu datavirta ei ylitä sille määritettyä kaistan nopeutta. Dataliikenne joka ylittää AF:lle määritetyn kaistan nopeuden, kärsii usein pakettihävikistä. (APT Ltd 2009, 11.)

Expedited Forwarding (EF) tarjoaa vähäisen siirtoviiveen, pienen pakettihävikin ja vähäisen puskuroinnin. EF-dataliikenteelle annetaan usein etusija muihin nähden. EF sopii hyvin reaaliaikaisen audion- ja videonsiirtoon. EF-dataliikenteelle suositellaan antamaan vähintään 30 % maksimaalisesta kaistanleveydestä (riippuen kuinka suuri kokonaiskaistanleveys on). (APT Ltd 2009, 11.)

## QoS hyödyt

- Varmistaa tarvittavan kaistanleveyden tärkeälle datalle (esim. VoIP).
- QoS politiikkaa luotaessa huomataan yleensä tarve nostaa toimistoverkon kokonaiskaistanleveyttä.
- QoS tarkkailee dataliikennettä ja sen toimivuutta joten sitä voidaan käyttää apuna verkon suunnittelussa.

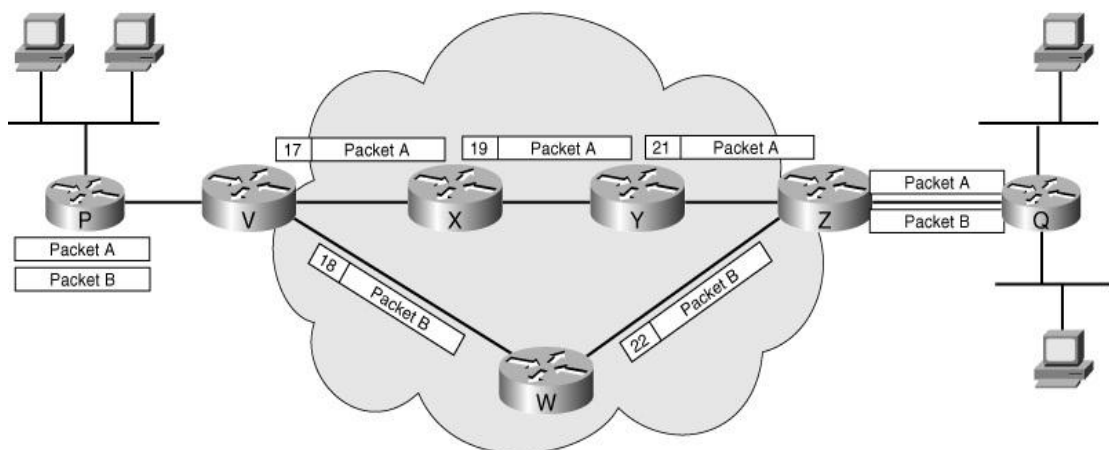
## QoS haitat

- Voi olla vaikea konfiguroida oikein.
- QoS tekeminen voi vaatia uusien laitteiden hankintaa.
- Voi aiheuttaa eripuraa käyttäjien kesken, siitä miten kaistanleveys jaetaan.

Kuva 12 QoS hyödyt & haitat

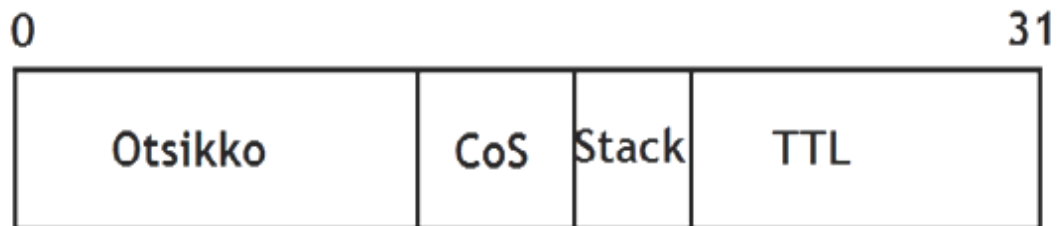
### 4.12 Multi-Protocol Label Switching

Yleensä IP-verkot ovat niin sanottuja “pilviverkkoja” joka tarkoittaa, että lähetetty tieto kulkee monien eri ennalta määräämättömien reitittimien kautta ennen saapumistaan haluttuun osoitteeseen. Multi-Protocol Label Switching (MPLS) mahdollistaa niin sanottujen tunneleiden rakentamisen haluttujen kohteiden välille (määritetään mitä reittiä tieto kulkee jo ennen datan lähetystä). MPLS tekee siten verkon toiminnasta luotettavamman ja etukäteen määritelty reitti helpottaa esimerkiksi viiveen laskemista. Jos reitti on ennalta määritelty, pitäisi viiveen pysyä aina suhteellisen samana. Lisäksi MPLS poistaa mahdollisuuden uudelleenreititys efektiin, mikä voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa ruuhkaa muille reitittimille joka puolestaan lisää viivettä. MPLS-verkon toiminta on esitettyinä kuvassa 13. Kuvassa packet a:lle ja packet b:lle on määritelty eri reititys. (Nicholson, Westlake & Zeng 2012, 3.)



Kuva 13 MPLS-reititys kuvattuna (Cisco 2012)

MPLS toimii siten, että se lisää lähtevään pakettiin lyhyen otsikon. Lisätyn otsikon avulla IP-pohjainen pakettiliikenne voidaan ohjata haluttujen reitittimien kautta. Reitittimet tunnistavat MPLS lisäämän otsikon ja siirtävät paketit seuraavalle reitittimelle, joka toistaa prosessin niin kauan kun paketti saapuu haluttuun osoitteeseen. MPLS käytettäessä verkon yli kulkeva reititys on siis aina ennalta määritelty. (Jungman, 2005 14 -15,)

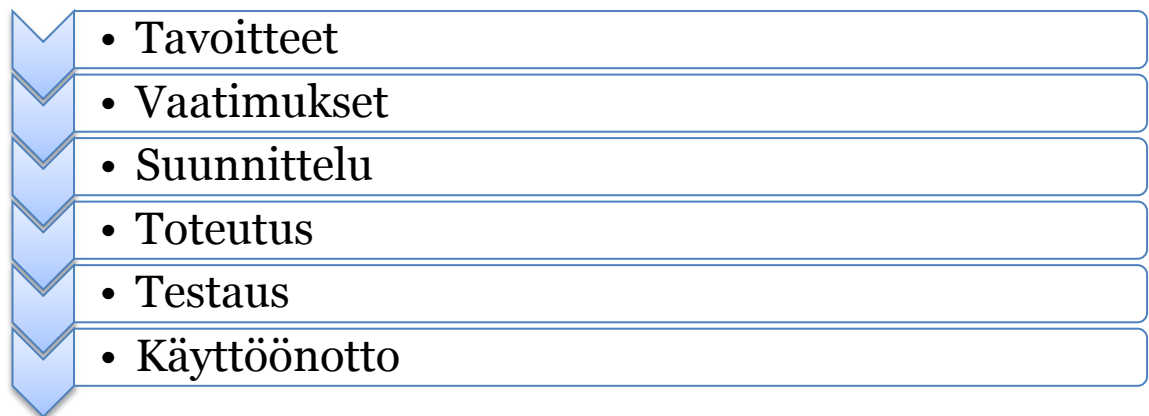


Kuva 14 MPLS-kehysrakenne

Kokonaisuudessaan MPLS lisäämä otsikko on 32-bittinen, mutta se sisältää neljä eri kenttää. MPLS lisäämä kehysrakenne on esitettyä kuvassa 14. Otsikkokenttä sisältää oleellisen tiedon lähetetystä paketista. Otsikkokenttä sisältää tarvittavat tiedot paketin perille viemiseksi ja paketin Forwarding Equivalence Class-luokan (lyhennettynä FEC, mutta sitä ei pidä sekoittaa Forward Error Correctioniin joka on myös lyhennettynä FEC). MPLS käyttämä FEC-luokka määrittää datan arvon ja samaan FEC-luokkaan kuuluvia paketteja kohdellaan aina samanarvoisesti eli ne reititetään MPLS verkon yli aina samalla lailla. CoS-kenttä, sen sisältäminen tietojen perusteella paketteja voidaan ensisijaistaa tai kokonaan hylätä. Stack-kenttä määrittää muiden kenttien järjestyksen. Stack-kentän arvosta voidaan päätellä kuinka monta otsikkoa sen alapuolelle sijoittuu. TTL-kenttä määrittää sen kuinka kauan paketti pysyy verkossa. Jokaisen reitittimen läpi kulkiessaan TTL-kentästä poistetaan yksi luku. Silloin kun TTL-arvo muuttuu nolaksi, koko paketti hylätään. (Jungman, 2005 14 -15.)

## 5 Hankekuvaus

Opinnäytetyön projekti toteutettiin käyttämällä vesiputousmallia. Vesiputousmalli soveltuu hyvin projektien läpivientiin. Vesiputousmallissa on aina mahdollisuus mennä takaisin edellisiin asiantekijöihin. Tämän opinnäytetyön läpiviennissä ei kuitenkaan jouduttu kertaakaan palaamaan takaisin niin sanotusti ”ylävirtaan”. Projektissa käytetty vesiputousmalli on esitettyä kuvassa 15.



Kuva 15 Vesiputousmalli

Projekti aloitettiin määrittelemällä työn tavoitteet ja vaatimukset. Projektin suunnittelu aloitettiin aikataulun laatimisella. Suunnitteluvaiheen seuraavana agendana oli tarvittavien testilaitteiden sekä testitilojen kartoittaminen. Toteutusvaiheessa tehtiin kaikki projektin vaatimat fyysiset laiteasennukset. Testaus toteutettiin, kun kaikki vesiputousmallin ylemmänkerroksen asiahaarat oli saatu tehtyä. Testien jälkeen tutkittavaa tekniikka oli valmiina otettavaksi käyttöön.

### 5.1 Tavoitteet ja vaatimusten määrittely

Tavoitteiden ja vaatimusten määrittelyssä mietittiin, mitä projektilta halutaan saavuttaa. Projektin tavoitteena oli reaaliaikaisen ohjelmansiirto WAN-verkon ylitse. Tavoitteena oli selvittää, onko IP-verkon ylitse ylipäättänsä mahdollista tehdä ohjelmansiirtoa TV-tuotannon erityistarpeisiin. Tavoitteena oli toteuttaa testit mahdollisimman aidoissa olosuhteissa, koska siten testeistä saatuja johtopäätöksiä voitaisiin käyttää konkreettisesti hyödyksi tulevaisuudessa. Siksi testit haluttiin toteuttaa kahden Yleisradion aluetoimipisteen välillä, missä pystytään tekemään TV-tuotantoa. Testien tavoitteena oli saada vastaus alla oleviin kysymyksiin:

- Onko reaaliaikainen ohjelmansiirto mahdollista toteuttaa IP-verkon kautta
- Voisiko tällä hetkellä käytössä olevat kuituyhteydet korvata IP-pohjaisilla yhteyksillä
- Pakettihävikin vaikutus kuvanlaatuun
- Mikä on ohjelmansiirrossa tapahtuva kokonaisviive
- Yleisradion ohjelmansiirtoverkon ja toimistoverkon yhtäaikainen toiminta

Tavoitteiden pohjalta, on opinnäytetyön lopussa olevassa johtopäätökset & kehitysehdotukset kappaleessa pohdittu projektin onnistumista. Vaatimusten määrittelyssä painotettiin erityisesti sitä, että Yleisradion toimistoverkon ja ohjelmansiirtoverkon on toimittava

samanaikaisesti käytettäessä samaa verkkoa. Vaatimuksena oli, että kumpikaan verkoista ei käytä liikaa kokonaiskaistanleveyttä, vaan molemmat toimisivat moitteettomasti yhdessä. Yleisradion toimistoverkossa on monia eri virtuaaliverkkoja ja jokaisen niistä on toimittava ilman ongelmia. Toimistoverkon eri virtuaaliverkot ovat listattuna alapuolella.

- TV-lähetysverkko
- Radio-lähetysverkko
- Palvelinverkko
- Työasemaverkko
- Langaton työasemaverkko
- Langaton vierailijaverkko
- Ulkopuolisten yritysten verkot

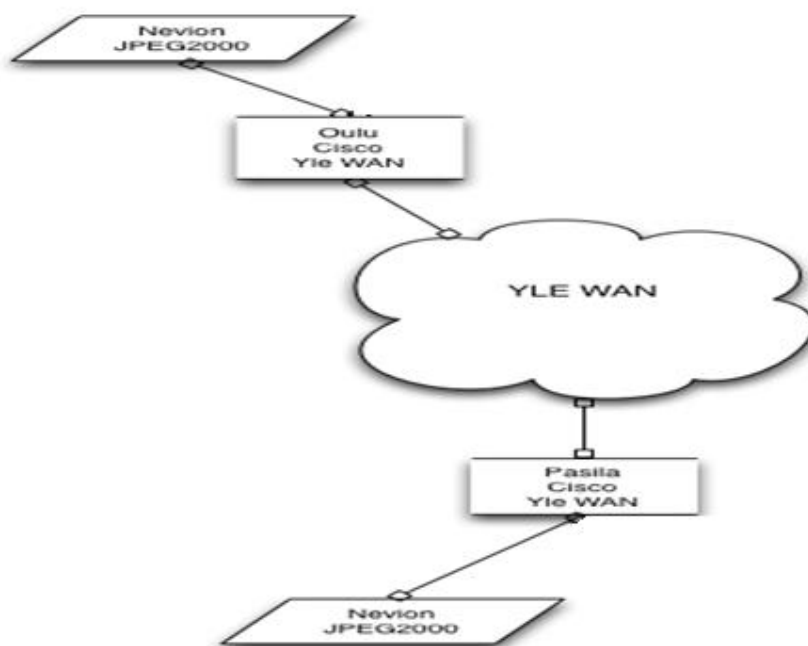
Lisäksi TV-tuotanto toi projektiin omat vaatimuksensa. TV-tuotannossa pitää huomioida asioita joita ei normaalisti tarvitse ottaa huomioon. TV-tuotannossa erityisvaatimuksena on, että kuvanlaatu pitää olla katkeamatonta eikä siinä saa esiintyä virheitä.

Vaatimusmäärittelyssä kuvanlaatu oli yksi keskeinen asia. IP-verkon kautta lähetetyn reaaliaikaisen videonlaatuun vaikuttaa myös hävitettyjen pakettien määrä. Hävitettyjen pakettien määrän minimointi oli yksi projektin vaatimuksista. Kuvanlaatuun vaikuttaa millä formaatilla materiaali on kuvattu. HD (High-definition) tai SD (Standard-definition) sirrossa vaadittavat bittinopeudet eroavat selkeästi. Pakkaamaton HD vaatii siirtonopeutta 1,5Gbit/s kun pakkaamaton SD tarvitsee vain 270 Mbit/s. Koska TV-lähetyksiä tehdään tällä hetkellä sekä SD- ja HD-tasoisina, haluttiin opinnäytetyössä testata molempien videostandardien siirtoa. Tietoverkon oli kyettävä siirtämään sekä toimistoverkon että HD-kuvanlaadun tarvitsema dataliikenne. Koska tekniikkaa tulisi mahdollisesti käyttämään reaaliaikaisen ohjelmansiirrossa, piti siirrossa tapahtuvan kokonaisviiveen olla mahdollisimman pieni. Reaaliaikaisessa lähetyksessä kokonaissiirtoviive ei saa olla liian pitkä kahden keskustelijan välillä. Projektin viimeisenä vaatimuksena oli selvittää kokonaisviiveen suuruus.

## 5.2 Toteutus

Testit toteutettiin kahdessa (2) Yleisradion TV-tuotantoon soveltuvassa aluetoimipisteessä. Testien aluetoimipisteinä toimi Oulu ja Pasila. Oulu valittiin testien toimipisteeksi, koska voidaan olettaa, että Oulun ja Pasilan välistä ohjelmansiirtoverkkoa tulisi käyttämään useimmin. Lisäksi testit haluttiin toteuttaa kahden maantieteellisesti mahdollisimman kaukana olevan toimipisteen välillä. Toimipisteiden maantieteellinen etäisyys vaikuttaa myös hieman lähetetyn datavirran fyysiseen siirtoviiveeseen. Kahden toisistaan mahdollisimman kaukana olevan toimipisteen valinnalla, pystyttiin mittaamaan suurin mahdollinen fyysinen siirtoviive. Oulun ja Pasilan välillä saatuja kokonaisviiveen mittaustuloksia voidaan käyttää

suurimpana mahdollisena, kun käytetään samaa laitteistoa. Testien toteuttamiseksi molempiin toimipisteisiin asennettiin samanlaiset laitteistot. Testeissä käytetty laitteisto oli Nevion Ventura VS101 jonka enkoodaus/dekoodaus kortti oli mallia VS901. Oulun lähetyspäähän asennettiin enkooderi ja Pasilaan dekooderi. Oulussa olevaa enkooderia pystyi ohjaamaan Pasilasta käsin, käyttämällä ohjaustietokonetta. Verkossa tapahtuvan dataliikenteen mittaustuloksia varten Pasilaan oli asennettu pöytätietokone johon oli asennettu verkko toiminnan analysoimiseen soveltuva ohjelmaa. Lisäksi Pasilassa oleva dekoodaus laite oli liitetty TV-monitoriin, josta pystyi seuraamaan/analysoimaan lähetetyn videokuvan toimivuutta. Testien toteutus on esitetty kuvassa 16.



Kuva 16 Testien toteutus

Testejä varten Yleisradion Internet-palveluntarjoajalta (ISP) tilattiin testien ajaksi 500 Mbit/s yhteys Oulun ja Pasilan välille. Normaalisti verkkoyhteys Oulun ja Pasilan välillä on 60 Mbit/s. Yleisradion WAN-verkko toimii MPLS-periaatteella (MPLS:n toiminta selitetty kohdassa 4.12). Yleisradion WAN-verkon reititys on hoidettu Ciscon 6500- ja 4500 sarjan reitittimillä.

Siirrettävän videon pakkaukseen on olemassa monia eri pakkaus standardeja esim. MPEG-4 ja JPEG2000. MPEG-4 ja JPEG2000 eroaa toisistaan monella tapaa. Suurimmat eroavaisuudet ovat pakkaukseen käytettävä aika ja siirtoon vaadittava bittinopeus. MPEG-4-pakkaus vaatii vain murto-osan JPEG2000 vaatimasta bittinopeudesta, mutta ajallisesti MPEG-4-pakkaus kestää huomattavasti kauemmin (HD-tasoisien videon pakkaaminen kestää muutamia sekunteja). Testeihin valittiin videonpakkaus standardi JPEG2000. JPEG2000-pakkaus standardi valittiin, sen erittäin pienen enkoodaus ja dekoodaus viiveen ansiosta. JPEG2000-



pakkauksella HD-tasaisen videomateriaalin enkoodaus/dekoodaus kestää ainoastaan 55 ms joka soveltuu erinomaisesti reaaliaikaisen ohjelmansiirtoon (katso taulukko 3). JPEG2000-pakkausta käyttämällä pystyttiin vähentämään SD- ja HD-tasaisen videon tarvitsemaa siirtokapasiteettia. Laitevalmistajan mukaan JPEG2000-pakkauksella SD-tasainen video vaatii noin 50 Mbit/s (pakkaamaton 270Mbit/s) ja HD 300 Mbit/s (pakkaamaton 1,5 Gbit/s). Ilman videopakkausta HD-tasaisen videomateriaalin kuljettaminen valittujen toimipisteiden välillä olisi mahdotonta (kaistanleveys olisi ollut liian pieni). Testeissä haluttiin selvittää, kuinka alhaisella bittinopeudella SD- ja HD-tasoista videomateriaalia voi lähettää, videomateriaalin ollessa vielä EBU:n määrittelemien kuvanlaatu standardien mukaisija.

### 5.3 Kuvanlaadun testaus & tulokset

Kuvanlaadun testauksessa haluttiin selvittää millä bittinopeudella SD- ja HD-tasoista videokuvaa voi lähettää käytettäessä JPEG2000-pakkausta. Testeissä selvitettiin, mikä on alin mahdollinen bittinopeus jolla SD- ja HD-tason kuvaa voi lähettää sekä millä bittinopeudella lähetys olisi suositeltavaa tehdä. Testeissä käytettiin Tektronix Picture Quality Analyzer 200 mittalaitetta joka toimi Windows NT-käyttöjärjestelmällä. Tektronix PQA 200 on hyvin vanha mittalaitteisto ja sillä pystyy mittaamaan vain SD-kuvanlaatua. HD-kuvanlaatuun ei Yleisradiolla ole erikseen mittalaitteistoja. HD-kuvanlaadun tarvitsemat bittinopeudet oli siis arvioitava silmämääräisesti. Tektronix PQA 200 mittaa SD-kuvanlaadun tasoa kuvaruutu kerrallaan. Mittalaitteisto näyttää jokaisesta mitatusta kuvaruudusta Picture Quality Rate- (PQR) ja Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) arvot. PQR- ja PSNR-arvoja tutkimalla saa selville videon tarkkuuden.

Tektronix PQA 200 näyttää mitatut PQR- sekä PSNR-arvot kahdella eri tavalla (kuvana tai numeroarvoina). Kuvana esitettynä PQR- ja PSNR-arvo ilmaistaan mustina ja valkoisina pikseleinä (valkoiset pikselit esittävät videokuvan hajontaa). Käytännössä mitä vähemmän valkoista kuvassa esiintyy, sitä laadukkaampi se on. Numeroarvoina esitettynä, mitä pienempi PQR-arvo ja mitä korkeampi PSNR-arvo, sitä tarkempi videokuva on. PQR-arvon noustessa yli kymmenen (10) kuvanlaatua voi pitää erittäin huonona. Tektronix PQA 200 mittalaitteella pystytään mittaamaan videokuvan tarkkuutta siihen valmiiksi asennettujen videoleikkeiden avulla. Kuvanlaatu on aina mitattava liikkuvalla kuvalla. Mittausleikkeeksi valittiin niin sanottu formula-videoleike. Formula-videoleike sopii hyvin kuvanlaadun mittaukseen, koska formula-auton nopeus aiheuttaa kuvanlaadun pikselöitymistä jos siirtonopeus on liian pieni. Formula-videoleikkeen pituus oli 120 kuvaruutua eli 4,8 sekuntia (1 sekunti = 25 kuvaa).

Kuvanlaadutestit onnistuivat hyvin. Testeistä selvisi sekä SD- että HD-tasaisen kuvanlaadun vaatima siirtonopeus. SD-tasaisen kuvanlaadun mittaustulokset olivat yllättäviä. Testeissä ilmeni, että SD-tasoista videomateriaalia voi siirtää alimmillaan 25 Mbit/s jolloin se läpäisee EBU:n määrittelemän SD-kuvanlaadutason. Siirrettäessä alle 25 Mbit/s kuvanlaadun taso oli

heikkoa ja sitä ei voi käyttää TV-tuotannossa (siirrettäessä alle 20 Mbit/s Nevion laitteisto ei pystynyt tuottamaan kuvaa ollenkaan). Testeissä selvisi, että siirrettäessä 30 Mbit/s SD-kuvanlaadun taso on hyvää, eikä lähetetyn ja vastaanotetun kuvan ero juurikaan näe paljaalla silmällä. Käytettäessä laitevalmistajien suosittelevaa siirtonopeutta (50 Mbit/s) SD-kuvanlaatu oli erittäin hyvälaatuista ja soveltuu erinomaisesti TV-tuotannon käyttötarpeisiin. Eroavaisuudet siirrettäessä 50 Mbit/s tai 20 Mbit/s ovat esitettynä opinnäytetyön lopussa olevissa liitteissä (liitteet 2-4). Kaikki SD-kuvanlaadun mittaustulokset ovat esitettynä liitteissä 5-8.

Kuten edellä jo mainittiin, Yleisradiolla ei valitettavasti ole käytössä HD-kuvanlaadun mittaukseen tarvittavia laitteita. HD-tason tarvitsemat bittinopeus rajat olivat kuitenkin tärkeä osa testejä. HD-tason mittatulokset jouduttiin arvioimaan käyttäen kahta (2) monitoria vierekkäin. Toiseen monitoriin ohjattiin Yleisradion lähetykskeskuksesta pakkaamatonta HD-tason videomateriaalia ja toiseen ohjattiin sama videomateriaali joka kierrätettiin Nevion VS901 kortin kautta jossa se pakattiin käyttämällä JPEG2000-pakkausta. HD-tason vaatima bittinopeus selvitettiin vertaamalla pakkaamattoman ja pakatun kuvanlaatua. Koska mittalaitteistoa ei ollut, testit aloitettiin selvittämällä alin mahdollinen bittinopeus. Alimman mahdollisen bittinopeuden löytymisen jälkeen kuvanlaatua parannettiin lisäämällä bittinopeutta, kunnes kuvanlaatu alkoi vastata pakkaamatonta HD-videota. Testeissä selvisi, että siirtonopeuden ollessa 80 Mbit/s kuvamateriaali kelpaisi TV-tuotannon käyttöön. Kuvavirheiden minimoinniksi laitevalmistajat kehottavat käyttämään HD-siirrossa 120 Mbit/s. TV-tuotannossa kuvamateriaalin virheettömyys on erittäin tärkeää, joten laitevalmistajien suosittelema 120 Mbit/s valittiin HD-tason siirtonopeudeksi. Testeissä selvitettiin mielenkiinnon vuoksi, missä vaiheessa bittinopeuden nostolla ei ole enää merkitystä paljaalle silmälle. Huomattiin, että bittinopeuden nostaminen yli 120 Mbit/s ei paranna kuvanlaatua merkittävästi. Esimerkiksi paljaalla silmällä ei erottanut 120 Mbit/s ja 204 Mbit/s välistä eroa.

#### 5.4 Verkon suorituskyvyn testaus & tulokset

Yleisradion sisäinen tietoliikenne on määritelty neljään (4) eri QoS-luokkaan (QoS on selitetty kohdassa 4.11). Yleisradion käyttämä palvelun laatuluokitus on kuvattuna taulukossa 4.

Yleisradion Palvelun laatuluokitus	
Sovellus	Palvelun laatuluokka
Reaaliaikainen liikenne	Expedited Forwarding
On Air	Assured Forwarding
VoiP	Assured Forwarding
Aluetoimipisteet	Class Selector
Muu liikenne	Best Effort

#### Taulukko 4 Yleisradion palvelun laatuluokitukset

Opinnäytetyössä testattavaan reaaliaikaiseen ohjelmansiirtoon tarkoitettu dataliikenne luokiteltiin korkeimpaan mahdolliseen QoS-luokkaan eli Expedited Forwarding-luokkaan (EF). EF-luokituksella halutaan varmistaa dataliikenteen toimivuus. Yleisradion ISP lupaa EF-luokitukselle erinomaisen toimivuuden ja vähäisen pakettihävikin. Verkon suorituskyvyn testeissä haluttiin selvittää ovatko ISP:n lupaamat asiat todellisia.

Nevion Ventura laitteessa on oma verkon analysointiohjelma mistä saa selville esimerkiksi lähetetyt paketit, vastaanotetut paketit ja pakettihävikin. Verkon suorituskyvyn mittauksissa ei kuitenkaan haluttu sokeasti luottaa käytetyn testilaitteen omiin mittaustuloksiin ja siksi verkon toimintaa haluttiin analysoida puolueettomalla ohjelmistolla. Toisena analysointi työvälineenä käytettiin maailman käytetyintä verkon analysointiohjelmistoa nimeltä Wireshark. Molempia analysointiohjelmia käyttämällä pyrittiin saamaan todellinen kuva verkon toiminnasta. Wiresharkin avulla verkossa kulkevaa dataliikennettä voi tutkia monella eri tavalla. Lähetettyjen ja saapuvien pakettien lisäksi Wireshark näyttää jokaisen saapuvan paketin protokollan ja IP-osoite tiedot. Wiresharkin avulla verkossa liikkuvan datan pystyy esittämään graafisesti. Graafisesta näkymästä saa helposti selville milloin verkkoliikenteessä on esiintynyt korkeimmat piikit ja pudotukset.

Testeissä selvisi, että ISP:n tarjoama EF-luokka toimi loistavasti. Verkon dataliikenne oli erittäin stabiili ja suuria pudotuksia ei esiintynyt, kuten voi todeta liiteestä 9. Lisäksi EF-laatuluokassa kulkevalla dataliikenteellä pakettihävikki oli erittäin pientä ja sen vaikutusta ei pystynyt erottamaan TV-monitorista paljaalla silmällä. FEC:n käyttäminen ei siis ole välttämätöntä, mutta jos käytössä oleva kaistanleveys on riittävä, FEC:n käyttämisellä voi varmistaa kuvanlaadun virheettömyys. Nevion VS901 kortilla voi säätää kolme (3) eri FEC-astetta (vähäinen, keskinkertainen ja korkea). FEC:n käyttö lisää siirrettävän datan määrää, joten todelliseen siirtonopeuteen pitää laskea FEC mukaan (jos FEC on käytössä). Taulukossa 5 on esitettyinä testeissä mitatut bittinopeudet ja FEC:n lisäämän bittinopeuden.

Mbit/s				
Siirtonopeus	20	25	30	50
Otsikkotiedot	0,8	1,1	1,3	1,8
Audio	1,0	1,0	1,0	1,0
FEC (vähäinen)	1,9	2,4	2,9	4,8
FEC (keskinkertainen)	5,0	6,3	7,6	12,6
FEC (korkea)	7,2	9,0	10,8	17,9

Vaadittava kaistanleveys	21,8-29,0	27,1-36,1	32,3-43,1	52,8-70,7
-----------------------------	-----------	-----------	-----------	-----------

Taulukko 5 Testatut SD-tason bittinopeudet

### 5.5 Ongelmatilanteet ja niiden ratkaisut

Vaikka projektin suunnittelu oli tehty huolella, ei sen läpivienti tapahtunut ilman ongelmia. Kukaan projektiin osallistuvista henkilöistä ei ollut ennen käyttänyt Nevion Ventura laitteistoa joten laitteiden toimintakuntoon saamisessa meni odotettua kauemmin. Kun projektin testiryhmä oli omasta mielestään konfiguroinut laitteet oikein, eikä Oulusta lähetettyä kuvaa saatu silti näkyviin alkoi vian etsintä. Vian etsintä oli erittäin vaikeaa, koska projektissa oli monta eri kohtaa, jossa vika voi olla. Mahdollisia vikakohtia oli mm. onko vika lähetyspäässä vai vastaanottopäässä, ovatko laitteet konfiguroitu oikein, toimivatko laitteet sekä toimiiko toimipisteiden välinen siirtoverkko.

Vian etsintä aloitettiin projektiryhmän konfiguroimien asetuksien uudelleen tarkastamisella. Kun konfiguroinnit oli tarkistettu useaan otteeseen, voitiin vikaa alkaa etsiä muista mahdollisista vikakohtista. Koska laitteiston toimivuus oli testattu Pasilassa kuvanlaatu-testien yhteydessä, voitiin olettaa että laitteistossa ei ole teknisiä vikoja. Seuraavaksi vian etsintä alkoi siirtoverkon toimivuudesta. Aluksi toimipisteiden välinen verkko näytti toimivan, koska verkon analysointiohjelmien avulla dataliikenne Oulun ja Pasilan välillä pystyttiin mittaamaan. Molemmat analysointiohjelmat näyttivät, että verkossa liikkuu dataa 15 Mbit/s. Verkossa liikkuva bittinopeus ei kuitenkaan vastannut enkooderista asetettua siirtonopeutta (30 Mbit/s). Wireshark ohjelman avulla pystyttiin selvittämään mitä protokolla liikennettä verkossa liikkuva data on. Verkossa liikkuvan datan protokolla oli UDP. UDP-protokolla viittasi siihen, että dataliikenne todennäköisesti oli enkooderin kautta siirrettävää videomateriaalia. Asiasta ei kuitenkaan voitu olla varma, koska bittinopeuden ollessa 15 Mbit/s Nevion Ventura laitteisto ei suostu tuottamaan näkyvää kuvaa. Varmistaakseen dataliikenteen todella olevan lähetettyä videomateriaalia, piti selvittää, miksi vastaanotettu bittinopeus ei vastannut lähetettyä bittinopeutta.

Projektin jäsenet huomasivat pian, että Oulun ja Pasilan välinen siirtoverkko oli jostain syystä rajoitettu 15 Mbit/s. Asia huomattiin kun enkooderista siirrettävä bittinopeuden nostaminen ei vaikuttanut vastaanotettuun bittinopeuteen mitenkään (vastaanotettu bittinopeus pysyi aina 15 Mbit/s). Asia varmistettiin ottamalla yhteys Yleisradion Internet-palveluntarjoajaan. Yleisradion ISP ei ollut vielä nostanut Oulun ja Pasilan välistä WAN-verkon kapasiteettia. Lisäksi testeissä käytetylle EF-luokan dataliikenteelle oli verkosta varattu vain 15 Mbit/s yhteys. Vian selvittyä ja WAN-verkon kapasiteetin noston jälkeen testit voitiin aloittaa uudelleen. Alkuvaikeuksien selvittämisen jälkeen testit sujuivat ongelmitta.



## 6 Johtopäätökset & kehitysehdotukset

Kasvavassa kilpailussa televisioyhtiöiden on löydettävä uusia keinoja säästää tuotantokustannuksista. Internet-yhteyksien yleistyminen, nopeuksien kasvu ja luotettavuuden parantuminen mahdollistavat uusia ohjelmansiirtotapoja. Televisioyhtiöt sekä laitevalmistajat ovat yhtä mieltä siitä, että IP-pohjaiset ohjelmansiirtoyhteydet tulevat yleistymään lähitulevaisuudessa. Syyt miksi IP-pohjaiset siirtoyhteydet eivät vielä ole syrjäyttäneet perinteisiä siirtoyhteyksiä, ovat epätietoisuus niiden luotettavuudesta ja toimivuudesta.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ja testata IP-pohjaisten ohjelmansiirtoyhteyksien luotettavuutta ja toimintaa Yleisradion aluetoimipisteiden välillä. Aluetoimipisteiksi valittiin Oulu ja Pasila, koska opinnäytetyössä tehdyt testit haluttiin toteuttaa mahdollisimman todennukaisessa käyttöympäristössä. Opinnäytetyön vaatimuksina oli löytää ratkaisu televisiotuotantoyhtiöiden tiukoille vaatimuksille kuvanlaadun virheettömyydestä, kokonaisviiveen pienuudesta ja siirtoverkon luotettavuudesta.

Opinnäytetyössä selvitettiin ensin, miten siirtoprosessissa aiheutuva kokonaisviive voitaisiin minimoida. Käytettäväksi testilaitteistoksi valittiin Nevion Ventura joka pakkaa siirrettävän datan käyttäen JPEG2000-standardia. JPEG2000-pakkausta käyttämällä datansiirrossa aiheutuva kokonaisviive jää erittäin vähäiseksi. Kuvanlaadun virheettömyyteen vaikuttaa käytännössä kaksi (2) asiaa, millä bittinopeudella dataa siirretään ja miten ehkäistään Internet-verkoissa tapahtuva pakettihävikki. Opinnäytetyössä selvitettiin SD- ja HD-tasoisien kuvanlaadun vaatimat bittinopeudet. Testeissä selvisi, että SD-tasolla bittinopeuden tulee olla yli 30 Mbit/s ja HD-tasoisien kuvan noin 120 Mbit/s. IP-verkoille ominaisen pakettihävikin tuomat ongelmat pystyi minimoida joko siirtonopeuden nostamisella tai vaihtoehtoisesti käyttämällä virheidenkorjaustekniikkaa forward error correctionia. Siirtoverkon luotettavuuden tutkiminen oli opinnäytetyössä kenties keskeisimpänä asiana. IP-verkkojen luotettavuuteen liittyvät kysymykset pystyttiin ratkaisemaan oikeanlaisen palvelun laatuluokituksen avulla. Toimisto- ja ohjelmansiirtoverkko saatiin toimimaan yhtäaikaaisesti kaistanleveyden noston ja palvelun laatuluokituksen asettamisen avulla. Yleisradion ohjelmansiirtoverkko toimii MPLS periaatteella. Koska MPLS-verkko käyttää ennalta määrättyjä reitittimiä, ei siirrettävässä datassa esiinny viiveen vaihtelua.

Opinnäytetyössä tehtyjen testien perusteella voi sanoa, että IP-pohjaiset siirtoyhteydet ovat hyvin luotettavia ja niiden käyttöä ei tulisi pelätä. On kuitenkin hyvä muistaa, että IP-pohjaisessa ohjelmansiirrossa on monia eri tekijöitä jotka voivat mennä pieleen. Mahdollisessa vikatilanteessa vian paikantaminen ei siksi ole kovinkaan helppoa. Tästä syystä perinteisesti käytettyjä kuitu- ja kaapeliyhteyksiä kannattaa edelleen käyttää tärkeissä ohjelmansiirroissa, kuten esimerkiksi urheilukilpailuissa. Siirtyminen IP-pohjaiseen

ohjelmansiirtoon on erittäin suuri askel taloudellisesti (laitehankinnat) sekä myös teknisesti (henkilöstön kouluttaminen). Tästä syystä, ennen varsinaista sitoutumista IP-pohjaiseen ohjelmansiirtoon, tulisi Yleisradion vertailla eri laitevalmistajien tuotteita ja selvittää miten laitteet eroavat toisistaan. Yleisradion tulisi selvittää, mikä laitteisto sopisi heidän käyttötarpeisiinsa parhaiten. Koska IP-pohjaiset ohjelmansiirtoyhteydet tulevat yleistymään tulevaisuudessa, tulisi henkilöstön kouluttaminen aloittaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Henkilöstön kouluttaminen ennen uuden tekniikan käyttöönottoa helpottaa varsinaisessa siirtymisessä ja vähentää ongelmatilanteiden syntyä.

## Lähteet

APT Ltd. 2009. The practical guide to audio over IP for Broadcast. Belfast.

Ballew, S. 1998. IP-verkkojen hallinta Ciscon reitittimillä. Espoo: Suomen atk-kustannus.

Casad, J., Willsey, B. 1999. TCP/IP trainer. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Ciccarelli, P., Faulkner, C. 2004. Networking Foundations: Technology Fundamentals for IT Success. Sybex.

Comer, D. 2002. TCP/ IP. Helsinki: Edita.

Comer, D. 2005. Internetworking with TCP/IP. Vol. 1: Principles, protocols and architecture 5<sup>th</sup> edition. Upper Saddle River: Prentice Hall.

Firestone, F., Ramaligam, T., Fry, S. 2007. Voice and Video Conferencing Fundamentals. Cisco Press.

Jungman, M. 2005. MPLS ja sen soveltuminen yrityksen Alueverkkoon. Opinnäytetyö: Laurea-ammattikorkeakoulu. Leppävaara.

Kaario, K. 2002. TCP/IP-verkot. Jyväskylä: Docendo.

Kabelová, A., Dostálek, L. 2006. Understanding TCP/IP: A Clear and Comprehensive Guide. Packt Publishing.

Kananen, J. 2009. Toimintatutkimus yritysten kehittämisessä. Tampere: Juvenes Print.

Koivula, L. 2009. IP-verkkojen käyttö yleisradioyhtiön reaaliaikaisessa ohjelmansiirrossa. Diplomityö: Teknillinen korkeakoulu.

Kurose, J., Ross, K. 2003. Computer Networking: A Top-down Approach Featuring the Internet 2<sup>th</sup> edition. Massachusetts: Addison-Wesley.

Nicholson, M., Westlake, S., Zeng, Y. 2012. Feasibility of building an all-IP network. Geneva: European Broadcasting Union.

Perkins, C. 2003. RTP Audio and Video for the Internet. Boston: Addison-Wesley Professional.



## Sähköiset lähteet

Cisco. 2012. Cisco Documents. Chapter 5: Designing Remote Connectivity (Part01). Viitattu 12.09.2012.

<http://ciscodocuments.blogspot.fi/2011/06/chapter-5-designing-remote-connectivity.html>

InetDaemon. 2012. The TCP/IP Model. Viitattu 12.09.2012.

[http://www.inetdaemon.com/tutorials/basic\\_concepts/network\\_models/TCP-IP\\_model/index.shtml](http://www.inetdaemon.com/tutorials/basic_concepts/network_models/TCP-IP_model/index.shtml)

Microsoft.2012. Technologies and Solutions: Quality of Service. Viitattu 13.09.2012.

<http://technet.microsoft.com/en-us/network/bb530836.aspx>

Yleisradio Oy. 2012. Kotisivut. Viitattu 08.09.2012.

<http://yle.fi/yleisradio/julkinen-palvelu>

<http://yle.fi/yleisradio/ylen-arvot>

<http://yle.fi/yleisradio/ylen-historia>

<http://yle.fi/yleisradio/ylen-strategia>

## Kuvat

Kuva 1 Yleisradion laajaverkko .....	7
Kuva 2 IP-reititysalgoritmi (Koivula 2009, 29) .....	14
Kuva 3 TCP:n paketin kuittaus (Comer 2002, 212) .....	17
Kuva 4 UDP-kehysrakenne (Kaario 2002, 157) .....	18
Kuva 5 RTP-kehysrakenne (Comer 2002, 542).....	19
Kuva 6 RTCP:n lähettäjäraportti (Kimmo 2002, 162) .....	21
Kuva 7 RTCP:n vastaanottajarakortti (Kimmo 2002, 163) .....	22
Kuva 8 FEC:n toiminta.....	23
Kuva 9 Pariteetti-FEC:n toiminta (Perkins 2003, 255).....	24
Kuva 10 Puskurin toiminta (Koivula 2009, 58) .....	25
Kuva 11 Kokonaisviiveen muodostuminen (Koivula 2009, 60) .....	25
Kuva 12 QoS hyödyt & haitat.....	28
Kuva 13 MPLS-reititys kuvattuna (Cisco 2012) .....	28
Kuva 14 MPLS-kehysrakenne .....	29
Kuva 15 Vesiputousmalli .....	30
Kuva 16 Testien toteutus .....	32
Kuva 17 50 Mbit/s vastaanotettu kuva .....	48
Kuva 18 20 Mbit/s vastaanotettu kuva .....	48
Kuva 19 50 Mbit/s vastaanotettu kuva (PQR) .....	49
Kuva 20 20 Mbit/s vastaanotettu kuva (PQR) .....	49
Kuva 21 50 Mbit/s vastaanotettu kuva (PSNR) .....	50
Kuva 22 20 Mbit/s vastaanotettu kuva (PSNR) .....	50
Kuva 23 50 Mbit/s yhteenveto .....	51
Kuva 24 50 Mbit/s kaavio (PQR) .....	51
Kuva 25 30 Mbit/s yhteenveto .....	52
Kuva 26 30 Mbit/s kaavio (PQR) .....	52
Kuva 27 25 Mbit/s yhteenveto .....	53
Kuva 28 25 Mbit/s kaavio (PQR) .....	53
Kuva 29 20 Mbit/s yhteenveto .....	54
Kuva 30 20 Mbit/s kaavio (PQR) .....	54
Kuva 31 30 Mbit/s verkkoliikenne .....	55

## Taulukot

Taulukko 1 Opinnäytetyön rakenne .....	8
Taulukko 2 Ylen tuottamat palvelut .....	12
Taulukko 3 Kokonaisviiveen suositukset .....	26
Taulukko 4 Yleisradion palvelun laatuluokitukset .....	35
Taulukko 5 Testatut SD-tason bittinopeudet .....	36

## Liitteet

Liite 1: Lyhenteet .....	45
Liite 2: Siirrossa käytetyn bittinopeuden vaikutus kuvanlaatuun.....	48
Liite 3: Siirrossa käytetyn bittinopeuden vaikutus kuvanlaatuun (PQR) .....	49
Liite 4: Siirrossa käytetyn bittinopeuden vaikutus kuvanlaatuun (PSNR) .....	50
Liite 5: 50 Mbit/s testin yhteenveto & kaavio (SD) .....	51
Liite 6: 30 Mbit/s testin yhteenveto & kaavio (SD) .....	52
Liite 7: 25 Mbit/s testin yhteenveto & kaavio (SD) .....	53
Liite 8: 20 Mbit/s testin yhteenveto & kaavio (SD) .....	54
Liite 9: Verkon luotettavuuden mittaus.....	55

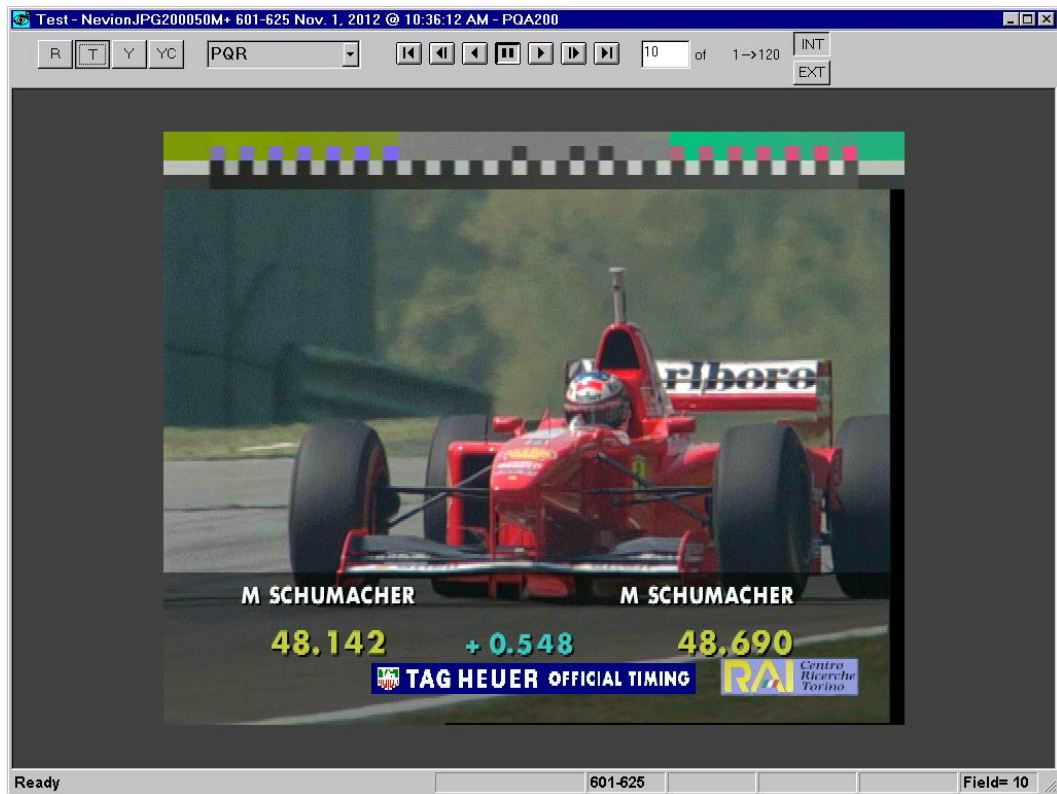
## Liite 1: Lyhenteet

AF	Assured Forwarding, palvelun laatuluokitus
BBC	British Broadcasting Company, Iso-Britannian yleisradioyhtiö
BE	Best Effort, palvelun laatuluokitus
CC	CSRC count, RTP-otsikossa oleva määrittää kuinka monta alkuperäislähdettä säilytetään
CoS	Class of Service, MPLS-pakettien luokittelutapa
CS	Class Selector, palvelun laatuluokitus
DSCP	Differentiated Services Code Point, palvelun laadun numereellinen arvo ilmaistaan DSCP-luvulla
EBU	European Broadcasting Union, Euroopan yleisradiounioni
EF	Expedited Forwarding, palvelun laatuluokitus
FC	Fraction lost, RTCP-raporteista löytyvä osa jossa ilmoitetaan kadotettuja paketteja
FEC	Forwarding Equivalence Class, MPLS-paketti ryhmille annettava arvo jolla voidaan vaikuttaa pakettien etuoikeuksiin
FEC	Forward Error Correction, virheenkorjaus tekniikka
FTP	File Transfer Protocol, tiedostojen siirtoon käytettävä sovellustason protokolla
Gbit	Gigabit, Gigabitti on tietotekniikassa käytetyn informaation määrän mittayksikkö
HD	High-definition, teräväpiirto, TV-kuvanlaatustandardi
IP	Internet Protocol, Internet Protokolla

IPTD	IP Packet Transfer Delay, Siirtoviive
IPv4	Internet Protocol version four, Internet Protokollan versio neljä
IPv6	Internet Protocol version six, Internet Protokollan versio kuusi
ISP	Internet service provider, Internet-palveluntarjoaja
JPEG2000	Videonpakkauksessa käytetty standardi
LAN	Local Area Network, lähiverkko
Mbit	Megabit, Megabitti on tietotekniikassa käytetyn informaation määrän mittayksikkö
MPEG-4	Videonpakkauksessa käytetty standardi
MPLS	Multi-Protocol Label Switching, verkkoreitityksessä käytettävä tekniikka
ms	Millisekuntia, aikaa mittaava käsite
NTP	Network Time Protocol, ilmaisee tietokoneiden välisiä aikatietoja
PHB	Per-Hop Behaviours, palvelun laadun nimellisarvoja ilmaiseva käsite
PQA	Picture Quality Analyzer, kuvanlaadun mittaukseen suunniteltu ohjelmisto
PQR	Picture Quality Rating, kuvanlaadun mittayksikkö
PSNR	Peak Signal-to-noise ratio, kuvanlaadun mittayksikkö
QoS	Quality of Service, Palvelun laatu, tarkoitetaan tietoliikenteen luokittelua ja priorisointia
RR	Receiver Report, RTCP vastaanottajaraportti
RTCP	Real Time Control Protocol, kontrolliprotokolla jota käytetään reaaliaikaisesti tapahtuvassa tiedonsiirrossa

RTP	Real-Time Transport Protocol, reaaliaikaisessa tiedonsiirrossa käytetty sovellustason protokolla
SD	Standard-definition, standardipiirto, TV-kuvanlaatustandardi
SR	Sender Report, RTCP lähettäjäraportti
TCP	Transmission Control Protocol, yleiseen tiedonsiirtoon usein käytetty kuljetuskerroksen protokolla
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol, tietoverkkoprotokolla yhdistelmä
TTL	Time to Live, MPLS-paketille annettava arvo joka ilmoittaa paketin elinajan verkossa
TV	Televisio
UDP	User Datagram Protocol, yksinkertaisesti toimiva kuljetuskerroksen protokolla
V	Version, RTCP-otsikossa oleva lyhenne joka ilmoittaa version numeron
Ver	Version, RTP-kehyksessä oleva lyhenne joka ilmoittaa RTP-paketin version numeron
VoIP	Voice over IP, IP-verkon yli kuljetettu ääni
WAN	Wide Area Network, laajaverkko
XOR	Exclusive-or, virheidenkorjauksessa käytettävä poissulkeva-tai operaatio
Yle	Yleisradio Oy

Liite 2: Siirrossa käytetyn bittinopeuden vaikutus kuvanlaatuun



Kuva 17 50 Mbit/s vastaanotettu kuva



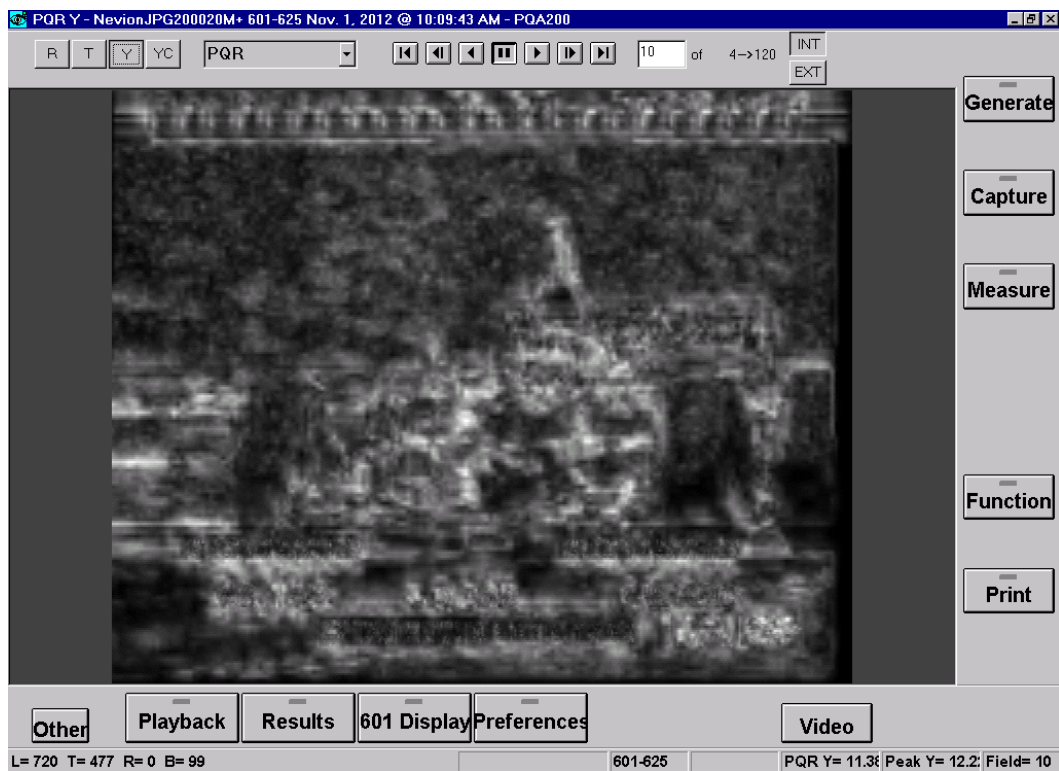
Kuva 18 20 Mbit/s vastaanotettu kuva



Liite 3: Siirrossa käytetyn bittinopeuden vaikutus kuvanlaatuun (PQR)

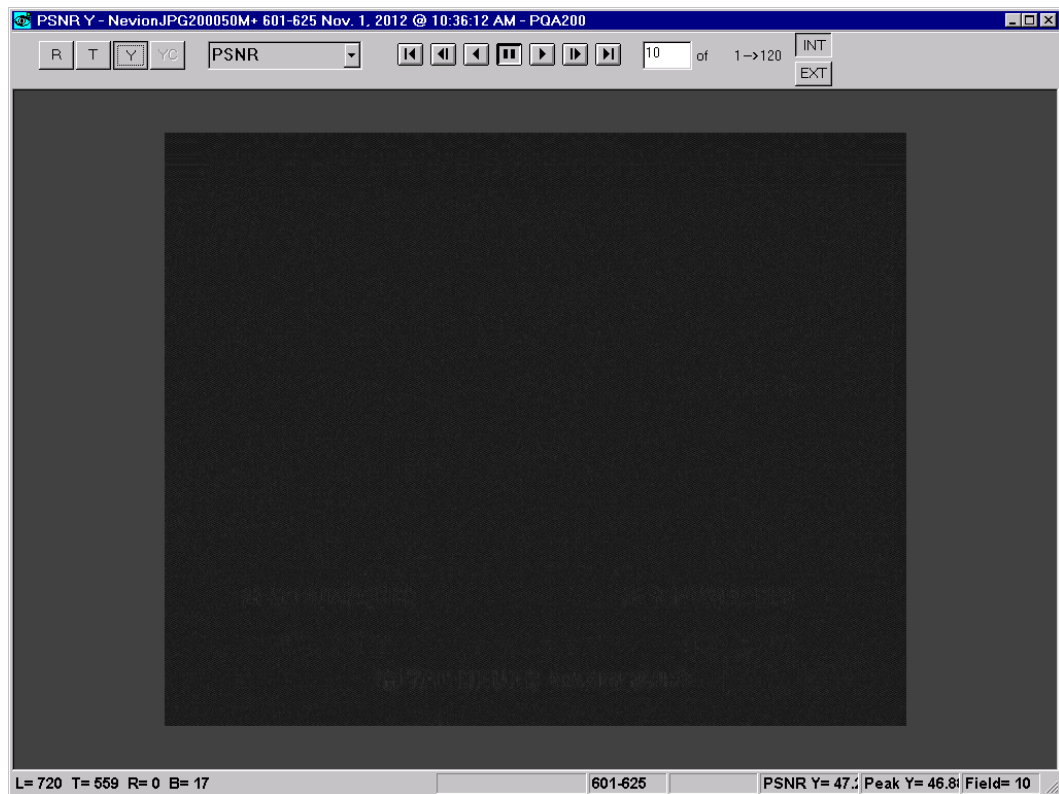


Kuva 19 50 Mbit/s vastaanotettu kuva (PQR)

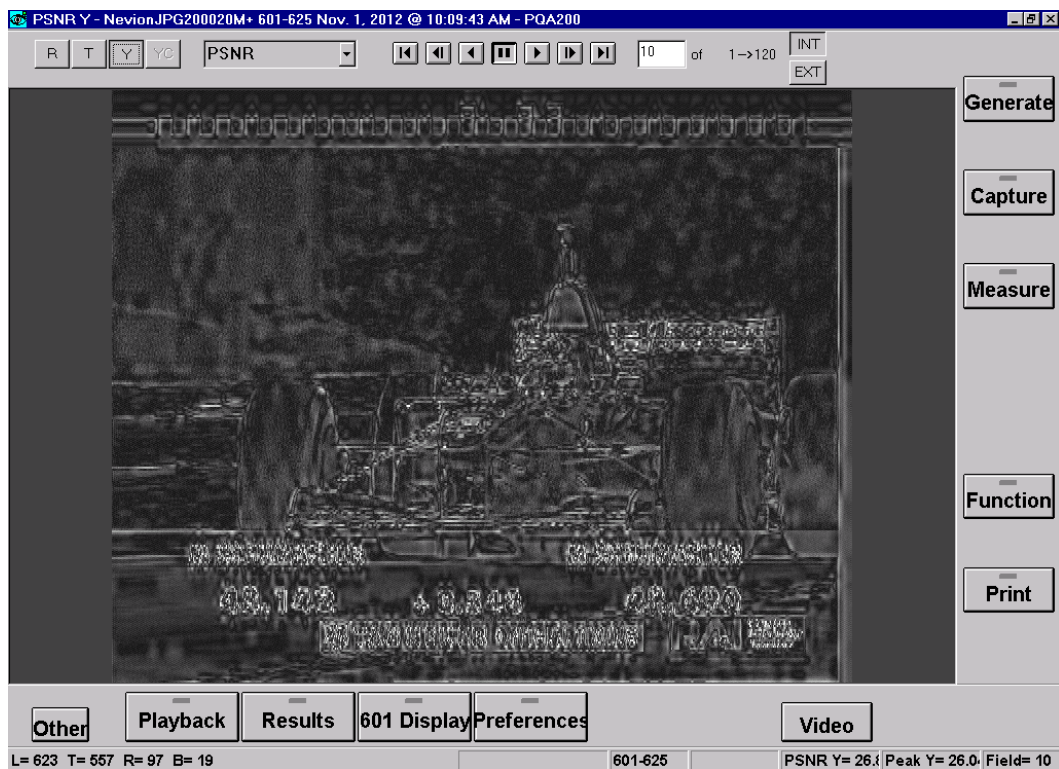


Kuva 20 20 Mbit/s vastaanotettu kuva (PQR)

Liite 4: Siirrossa käytetyn bittinopeuden vaikutus kuvanlaatuun (PSNR)

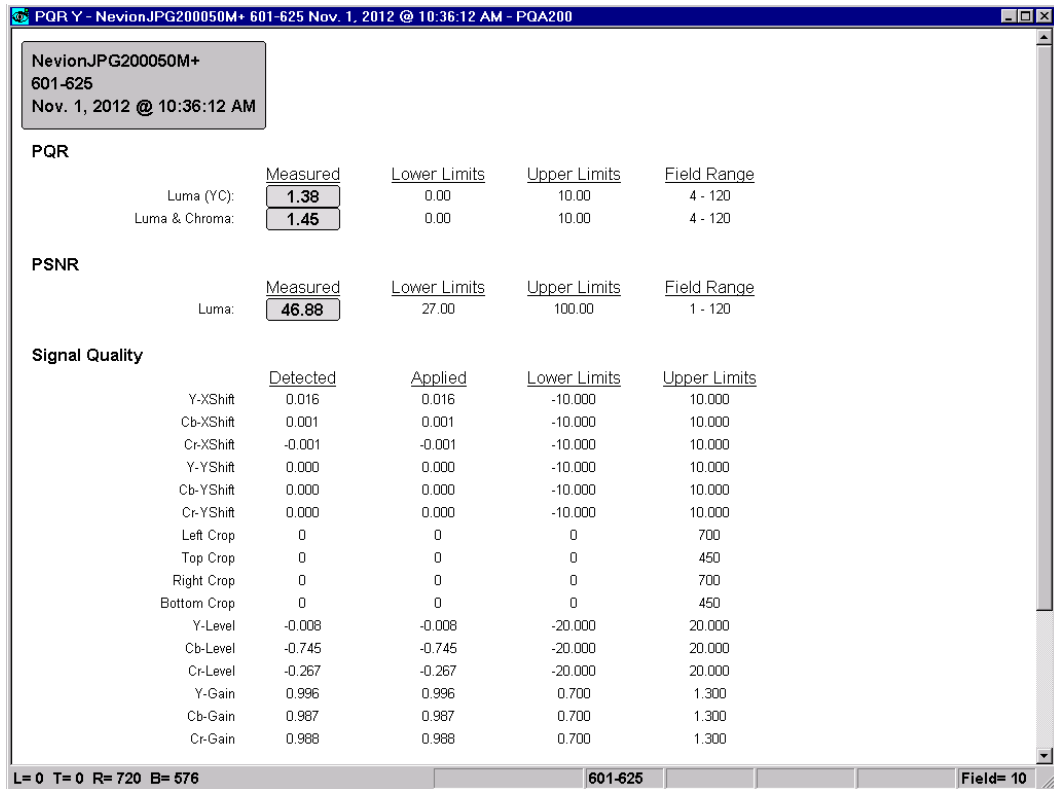


Kuva 21 50 Mbit/s vastaanotettu kuva (PSNR)

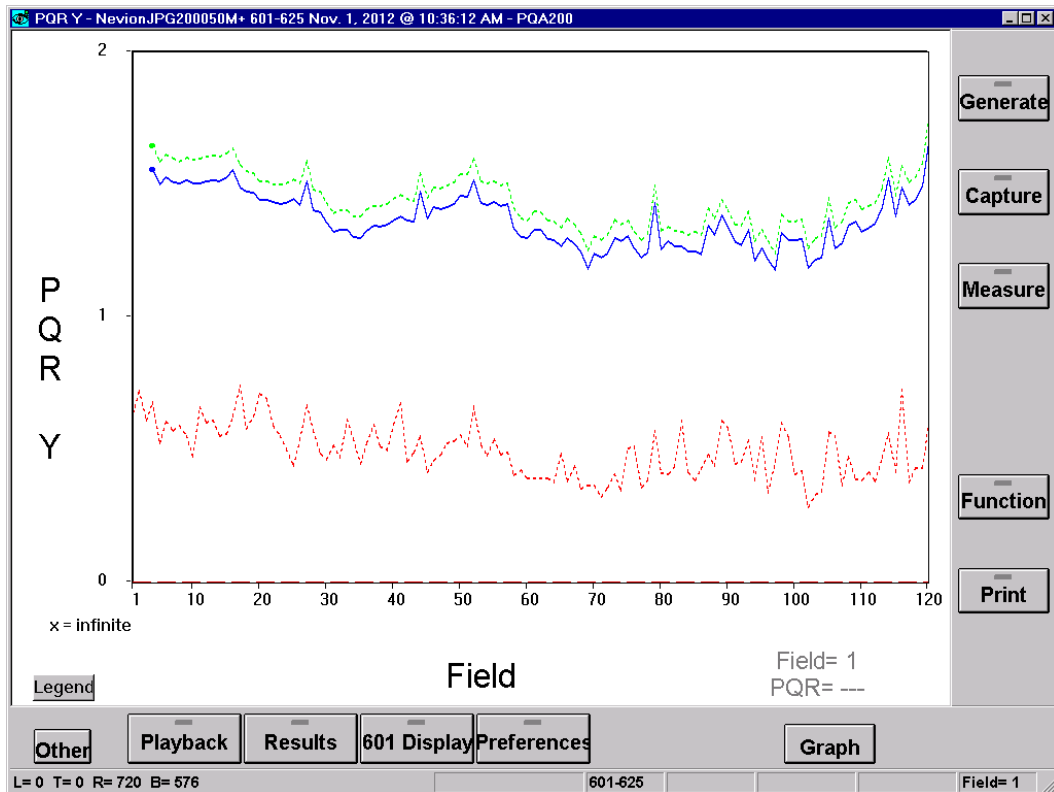


Kuva 22 20 Mbit/s vastaanotettu kuva (PSNR)

Liite 5: 50 Mbit/s testin yhteenveto &amp; kaavio (SD)

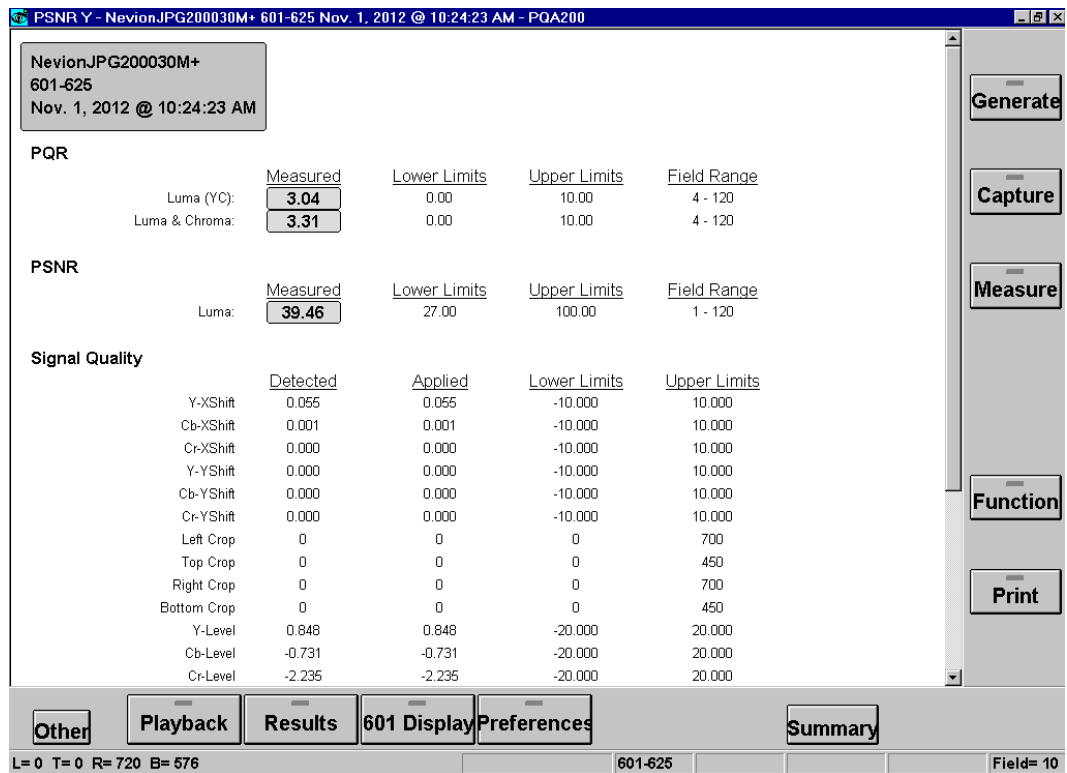


Kuva 23 50 Mbit/s yhteenveto

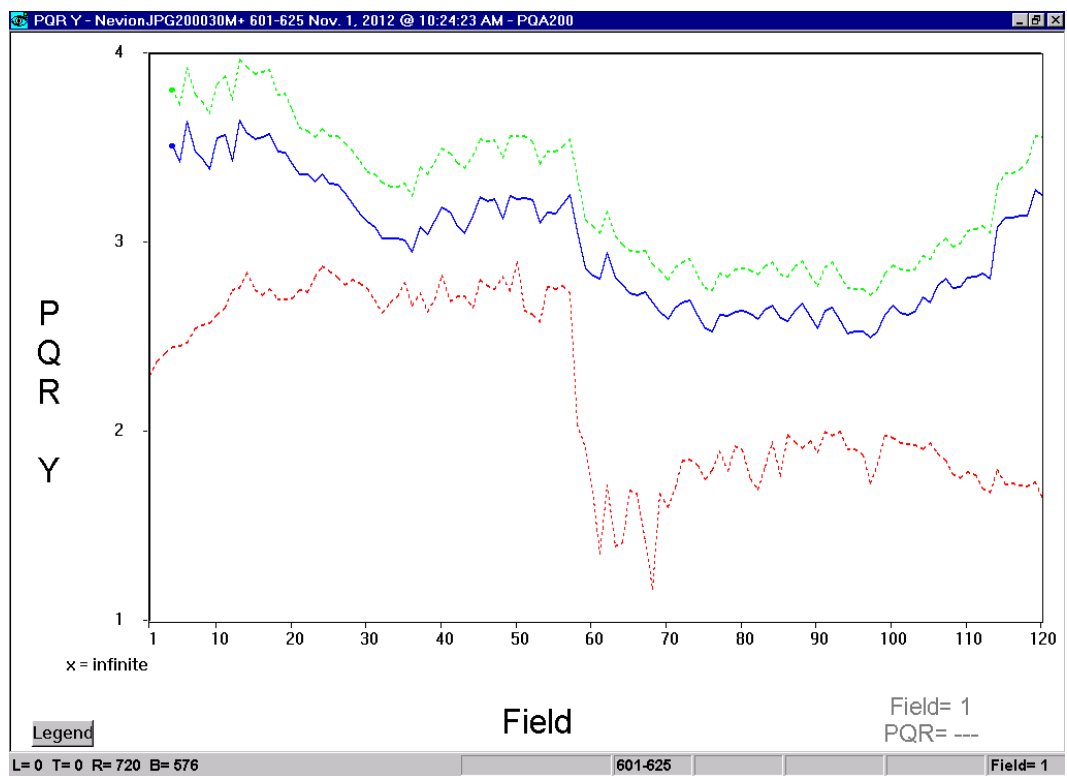


Kuva 24 50 Mbit/s kaavio (PQR)

Liite 6: 30 Mbit/s testin yhteenveto &amp; kaavio (SD)

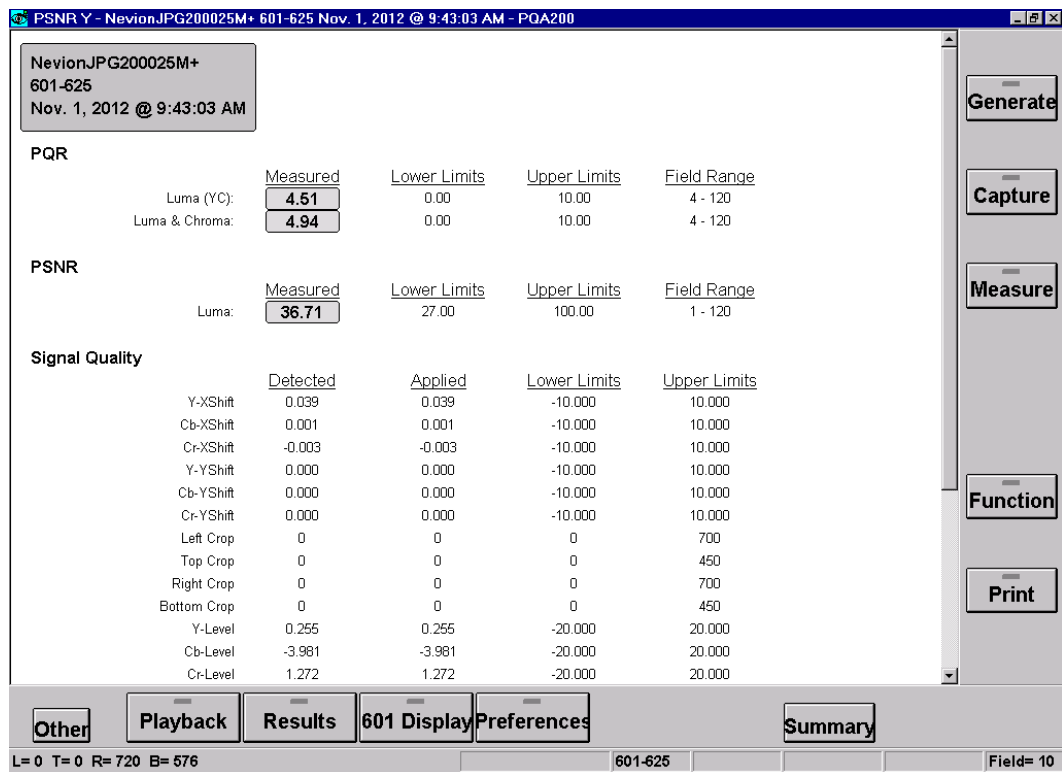


Kuva 25 30 Mbit/s yhteenveto

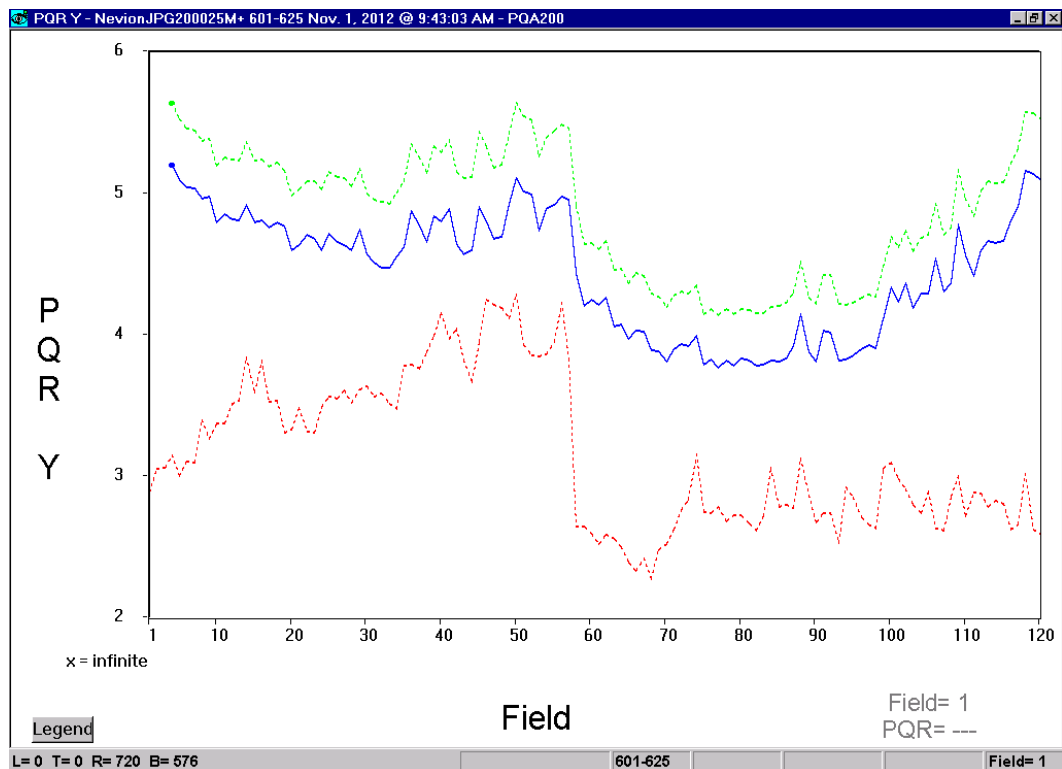


Kuva 26 30 Mbit/s kaavio (PQR)

Liite 7: 25 Mbit/s testin yhteenveto &amp; kaavio (SD)

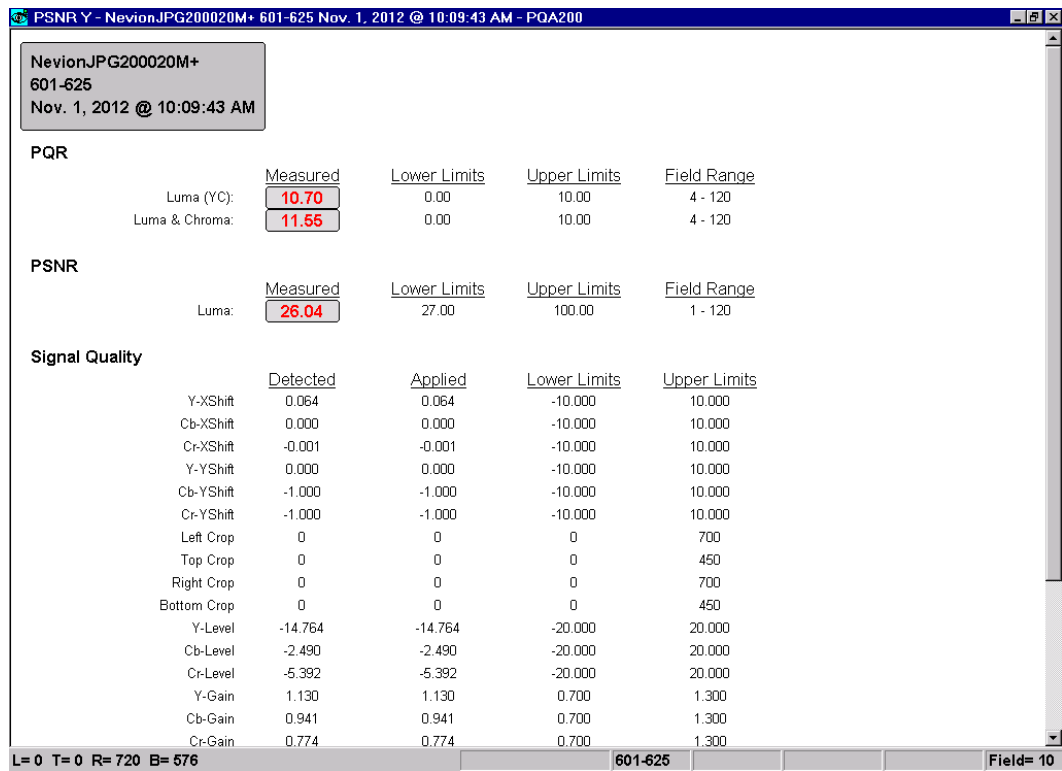


Kuva 27 25 Mbit/s yhteenveto

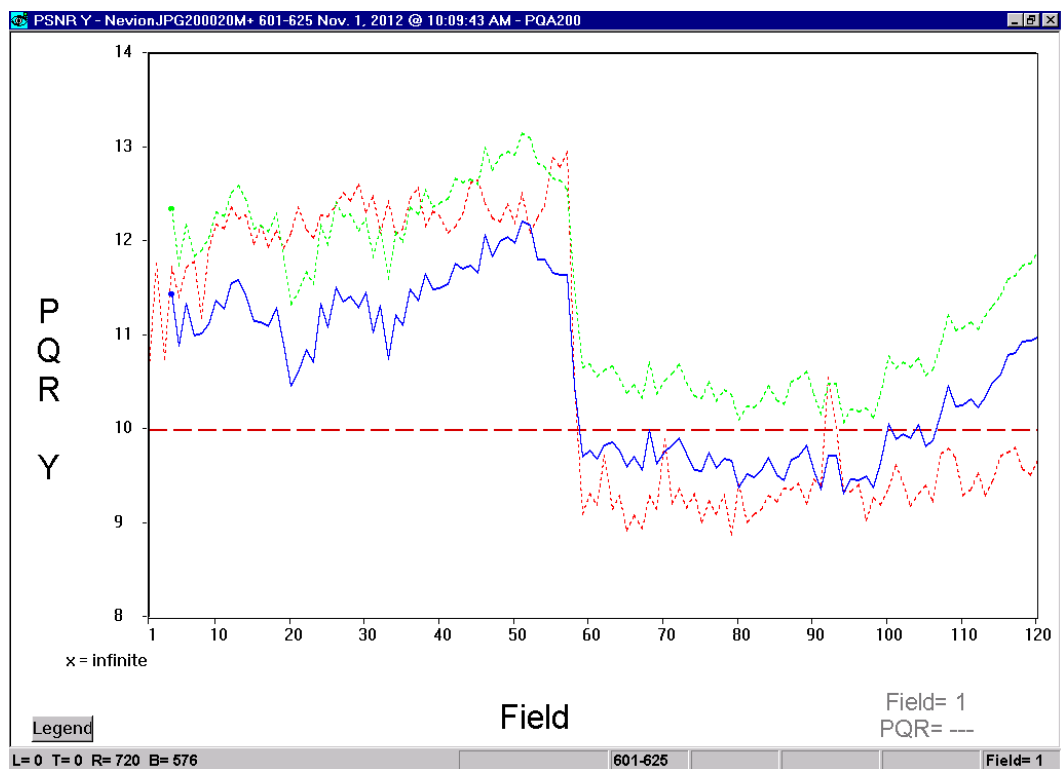


Kuva 28 25 Mbit/s kaavio (PQR)

Liite 8: 20 Mbit/s testin yhteenveto &amp; kaavio (SD)

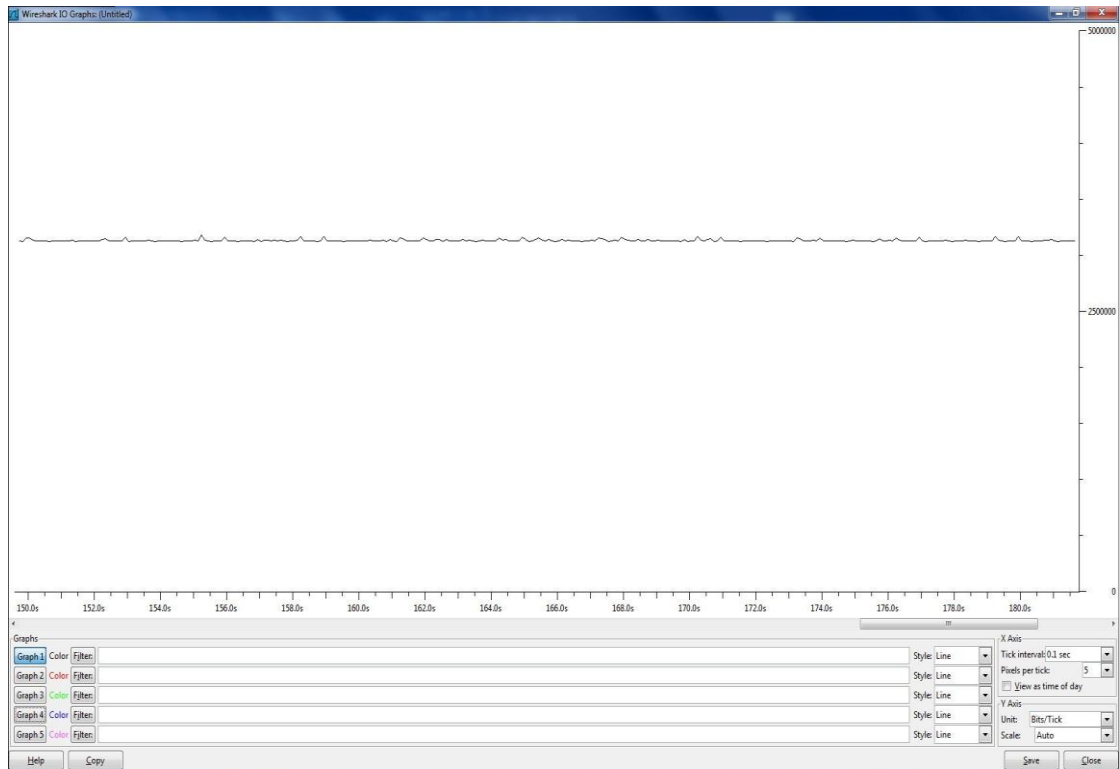


Kuva 29 20 Mbit/s yhteenveto



Kuva 30 20 Mbit/s kaavio (PQR)

## Liite 9: Verkon luotettavuuden mittaus



Kuva 31 30 Mbit/s verkkoliikenne